



المملكة العربية السعودية
وزارة التعليم العالي
جامعة أم القرى
كلية العلوم الاجتماعية
قسم الجغرافيا

**تقدير الجريان السطحي ومخاطره السيلية في الحوض الأعلى لوادي عرنة
شرق مكة المكرمة بوسائل الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية**

إعداد الطالبة

هيفاء محمد النضيبي

إشراف الاستاذ الدكتور

سعد بن سعيد أبوراس الغامدي

دراسة مقدمة إلى قسم الجغرافيا كمتطلب تكميلي لنيل درجة الماجستير في الجغرافيا

الفصل الدراسي الثاني عام ١٤٣١هـ - ٢٠١٠م



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

نموذج رقم (١٩)

إجازة أطروحة علمية في صياغتها النهائية بعد إجراء التعديلات
وبيانات الإتاحة بمكتبة الملك عبد الله بن عبد العزيز الرقمية

الملك عبدالعزيز بن
الرحمن
جامعة أم القيوين
عمادة الدراسات العليا

بيانات الطالب

Name	Haifa Mohammad Adi Al-Nofai			هيفاء بنت محمد عادي النفيعي			الاسم
University ID	42680105			٤٢٦٨٠١٠٥			الرقم الجامعي
College	Social Sciences			العلوم الاجتماعية			الكلية
Department	Geography			الجغرافيا			القسم
Academic Degree	Master	year	2010	١٤٣١	السنة	ماجستير	الدرجة العلمية
E-mail							البريد الإلكتروني

بيانات الأطروحة (الرسالة) العلمية

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين، وعلى آله وصحبه أجمعين، وبعد : فبناءً على توصية اللجنة المكونة لمناقشة الأطروحة العلمية، والتي تمت مناقشتها بتاريخ ١٤٣١/ ٦/ ٢٩ هـ، بقبول الأطروحة بعد إجراء التعديلات المطلوبة، وحيث تم عمل اللازم، فإن اللجنة توصي بإجازة الأطروحة في صياغتها النهائية المرفقة، كمتطلب تكميلي للدرجة العلمية المذكورة أعلاه. والله الموفق.	
عنوان الأطروحة كاملاً	تقدير الجريان السطحي ومخاطره السيولية في الحوض الأعلى لوادي عرنة شرق مكة المكرمة بوسائل الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية

أعضاء اللجنة

المشرف على الرسالة	الاسم	أ.د. سعد بن سعيد أبو راس الغامدي	التوقيع
المناقش الداخلي	الاسم	د. بدر الدين يوسف محمد أحمد	التوقيع
المناقش الداخلي	الاسم	د. خالد بن مسلم الرحيلي الحربي	التوقيع
مصادقة رئيس القسم	الاسم	د. خالد بن مسلم الرحيلي الحربي	التوقيع

إتاحة الأطروحة (الرسالة) العلمية

بناءً على التنسيق المشترك بين عمادة الدراسات العليا و عمادة شؤون المكتبات، إتاحة الرسالة العلمية للمكتبة الرقمية، فإن للطالب الحق في التأشير (✓) على أحد الخيارات التالية :	
<input type="radio"/>	لا أوافق على إتاحة الرسالة كاملة في المكتبة الرقمية، وأعلم أن للمكتبة الحق في استخدام عملي أو إتاحتها في إطار الاستخدام المشروع الذي يسمح به نظام حماية حقوق المؤلف في المملكة العربية السعودية.
<input checked="" type="radio"/>	أوافق على إتاحة الرسالة في المكتبة الرقمية، وتصوير الرسالة كاملة بدون مقابل.
<input type="radio"/>	أوافق على تصوير الرسالة كاملة بمقابل وفق شروط مكتبة الملك عبدالله الرقمية والتي سبق وأن أطلعت و وافقت عليها.
توقيع الطالبة	التاريخ

يعبأ النموذج باستخدام الحاسب الآلي، ويوضع أمام الصفحة المقابلة لصفحة عنوان الأطروحة (الرسالة) العلمية في كل نسخة من الرسالة

قال تعالى:

﴿أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَسَالَتْ أَوْدِيَةٌ بِقَدَرِهَا فَاحْتَمَلَ السَّيْلُ زَبَدًا رَابِيًا... الآية﴾

سورة الرعد الآية ١٧

ملخص البحث

تقدير الجريان السطحي ومخاطره السييلية في الحوض الأعلى لوادي عرنة شرق مكة المكرمة بوسائل الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية

يقع الحوض الأعلى لوادي عرنة شرق مدينة مكة المكرمة، ويعد من أحواض التصريف المهمة بالنسبة للمدينة، فالحوض يشهد نمواً عمرانياً متسارعاً خلال السنوات الماضية. ويتعرض الحوض خلال مواسم الأمطار إلى أخطار سييلية متكررة أسفرت عن كثير من الأضرار في نواح عدة منه. لذا انبرت هذه الدراسة لتقدير الجريان السطحي والمخاطر السييلية في الحوض الأعلى لوادي عرنة بالاعتماد على وسائل الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية. وتطبيق نموذج الأرقام المنحنية للجريان السطحي من خلال توظيف الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية أمكن تقدير الجريان السطحي ضمن ثلاثة مستويات مكانية ابتداءً من مستوى الخلية، فمستوى الأحواض الجزئية، فالحوض ككل. وقد أمكن تقدير الجريان السطحي بناءً على عاصفتي مطر منتقتين بلغت الأولى ١٨ ملم، والثانية ١٩١ ملم، كذلك تم تقدير الجريان السطحي السنوي.

وتبين من خلال تطبيق ذلك النموذج أن خصائص الحوض الطبيعية والبشرية قد أسهمت في رفع قيم الاصمات في الحوض، حيث بلغت قيمة الرقم المنحني للحوض ٨٨، فيما تراوحت القيم الدنيا والعليا بين ٥٥ و ٩٨، ولم تقل القيم المنحنية في أي من الأحواض الجزئية عن ٧٦ مما جعل الحوض الأعلى لوادي عرنة ذا استجابة عالية للجريان السطحي. كما تبين أن رقم المنحني ٩٣ مسؤولاً عن استجابة ٥٦٪ من الحوض للجريان السطحي، وعلى مستوى الأحواض الجزئية يعد حوضا وادي الشرائع ووادي البجيدي هما الأعلى توليداً للجريان السطحي إذ أسهما فيما نسبته ٥٧٪ من مجموع الجريان السطحي المتشكل في الحوض.

وتطبيق نموذج مخطط قمة التصريف أمكن دراسة المخاطر السييلية في الحوض وتقدير قمة التصريف في الأحواض الجزئية وفي الحوض ككل، وتحديد الأماكن الأكثر عرضة لمخاطر السيول. حيث بلغت قمة التصريف في الحوض ٤٠٩٦ م^٣/ث، كما تم تحديد ١١ موقعاً كأكثر المواقع عرضةً لمخاطر السيول في الحوض الأعلى لوادي عرنة.

وتقع الدراسة في خمسة فصول، تضمن الفصل الأول المقدمة، واختص الفصل الثاني بالتعريف بالملاح الطبيعية لمنطقة الدراسة، فيما اشتمل الفصل الثالث على تقدير الجريان السطحي في الحوض الأعلى لوادي عرنة، أما الفصل الرابع فقد تناول المخاطر السييلية في الحوض، وخلص الفصل الخامس إلى مناقشة النتائج التي توصلت إليها الدراسة، والتوصيات التي خرجت بها.

عميد كلية العلوم الاجتماعية
أ.د محمد بن مهفر القرني

المشرف على الرسالة
أ.د سعد أبوراس الضامدي

الطالبة
هيفاء محمد النفيعي

Abstract:

The upper basin of Wadi Orana is located close by the eastern part the City of Makkah. It is considered as one of the most important drainage basins around the city because of its rapid urban growth during the past years. This basin had been exposed to frequent flood hazards which were responsible for many damages in several areas of the basin. So this study was designed appeared to estimate the runoff and the flood hazards in the upper basin of Wadi Orana using remote sensing and geographic information systems. The annual runoff was also estimated by applying the curved numbers model of the runoff through the recruitment of remote sensing and geographic information systems. It was possible through applying remote sensing and GIS techniques upon the Runoff Curve Numbers (RCNs) to estimate the runoff in three spatial levels: the pixel unit, the level of sub-basins, and the basin as a whole. It became possible also to estimate the runoff according to two chosen rainstorms. The first reached 18 mm, and the second 191 mm.

Through the application of this model, it was found that the natural and human characteristics of the basin have contributed to raise the values of imperviousness. In the basin, the value of the curve number of the basin reached 88, while in the lower and higher value it ranged between 55 and 98. The curved values in any partial basins had not been less than 76 which makes the upper basin of Wadi Orana has a high response to the runoff. As it turns out, the figure of the curve 98 is responsible for about 56 % of the basin's runoff response. At the level of sub-basins, Al-Shry'a and Al-Bujidi basins are considered to be the highest generating of the runoff. Both has contributed about 57 % of the total runoff formed in the basin.

By applying the graphical peak discharge, it has been possible to study the flood hazards in the basin, to estimate the peak discharge in the sub-basins and the basin as a whole and to identify the most vulnerable areas to flood hazards in the basin. The peak discharge in the basin was reached (4096 m³/s) and 11 Sites have been identified as the most vulnerable sites to the flooding risk in the upper basin of Wadi Orana.

This study consists of five chapters. Chapter one introduction. Chapter two introduces the naturalism profiles of the studied area. Chapter three introduces estimating runoff in the upper basin of Orana. Chapter four deals with the flooding hazards in the basin. Finally Chapter five concludes with the discussion of the results that are reached and the recommendations that emerged from the study.

قائمة المحتويات

رقم الصفحة	الموضوع
ب	ملخص البحث باللغة العربية
ج	ملخص البحث باللغة الانجليزية
و	قائمة الجداول
ز	قائمة الأشكال
ط	قائمة اللوحات
الفصل الأول: المقدمة	
٢	تمهيد
٨	أولاً: موضوع الدراسة وأهميته
٩	ثانياً: أهداف الدراسة
٩	ثالثاً: تساؤلات الدراسة
٩	رابعاً: الدراسات السابقة
١٩	خامساً: الإطار النظري
٢٧	سادساً: الإجراءات المنهجية للدراسة
الفصل الثاني: الملامح الطبيعية للحوض الأعلى لوادي عرنة	
٣٩	تمهيد
٤٤	أولاً: التكوين الجيولوجي
٥٢	ثانياً: السمات العامة للتضاريس
٥٦	ثالثاً: التربة
٥٩	رابعاً: الغطاء النباتي
٦٠	خامساً: المناخ
الفصل الثالث: تقدير الجريان السطحي في الحوض الأعلى لوادي عرنة	
٧٣	تمهيد
٧٤	أولاً: التحليل الوصفي للبيانات الأولية المتعلقة بغطاءات الأرض وهيدرولوجية التربة
٨١	ثانياً: استخلاص الأرقام المنحنية CNS في الحوض الأعلى لوادي عرنة
٨٨	استخلاص قيم CNS الموزونة للأحواض الجزئية

قائمة المحتويات

رقم الصفحة	الموضوع
٩٢	ثالثاً: حساب معامل الإمكانية القصوى للاحتفاظ بالماء بعد بدء الجريان السطحي
٩٨	رابعاً: حساب معامل الاستخلاص الأولي قبل بدء الجريان السطحي
١٠٤	خامساً: تقدير الجريان السطحي في الحوض الأعلى لوادي عرنة
١٢٣	سادساً: تقدير حجم الجريان السطحي في الحوض الأعلى لوادي عرنة
الفصل الرابع: المخاطر السييلية في الحوض الأعلى لوادي عرنة	
١٣٠	تمهيد
١٣١	أولاً: حساب مدخلات نموذج مخطط ذروة التصريف
١٣٤	ثانياً: تقدير ذروة التصريف في الحوض الأعلى لوادي عرنة
الفصل الخامس	
١٤٩	الخاتمة ومناقشة النتائج
١٥٦	قائمة المراجع
١٦٩	الملاحق

قائمة المحتويات

رقم الصفحة	عنوان الجدول	رقم الجدول
٦٣	إحداثيات وأنواع محطات رصد عناصر المناخ المستخدمة في الدراسة	١
٦٥	المعدلات الشهرية لعناصر المناخ لمحطتي مكة والطائف من (١٩٧٠-٢٠٠٨م)	٢
٧٠	المتوسطات الشهرية والسنوية للأمطار في المحطات المجاورة لمنطقة الدراسة	٣
٧٥	غطاءات الأرض في الحوض الأعلى لوادي عرنة	٤
٨٠	المجموعات الهيدرولوجية للتربة (HSG) في الحوض الأعلى لوادي عرنة	٥
٨٣	قيم CN المقابلة لغطاءات الأرض والمجموعات الهيدرولوجية للتربة	٦
٨٥	قيم CN المستخلصة للحوض الأعلى لوادي عرنة	٧
٨٩	قيم CN الموزونة للأحواض الجزئية	٨
٩٧	قيم المعاملين S و Ia للأحواض الجزئية	٩
١٠٧	عمق الجريان السطحي ومجموع الجريان الناشئ عن مطر ١٨ ملم حسب قيم CNS في الحوض الأعلى لوادي عرنة	١٠
١١٣	عمق الجريان السطحي ومجموع الجريان للأحواض الجزئية	١١
١٢٧	حجم الجريان السطحي لعاصفة مطر ١٨ ملم وحجم الجريان السطحي السنوي	١٢
١٣٢	زمن التركيز ونسبة الاستخلاص الأولي إلى المطر في الحوض الأعلى لوادي عرنة	١٣
١٣٧	ذروة التصريف للحوض الأعلى لوادي عرنة وأحواضه الجزئية	١٤

قائمة التشكيلة

رقم الشكل	عنوان الشكل	رقم الصفحة
١	استخلاص الحوض الأعلى لوادي عرنة من نموذج الارتفاع الرقمي	٢٤
٢	مرئية سبوت-٥ للحوض الأعلى لوادي عرنة	٢٥
٣	نموذج الارتفاع الرقمي للحوض الأعلى لوادي عرنة	٢٥
٤	البصمة الطيفية لبعضغطاءات الأرض للحوض الأعلى لوادي عرنة	٢٧
٥	شبكة الطرق المستخلصة بواسطة اسلوب AOI في الحوض الأعلى لوادي عرنة	٢٧
٦	مرئية سبوت الناتجة عن مؤشر NDVI للحوض الأعلى لوادي عرنة	٢٩
٧	مخطط شامل لمراحل تقدير الجريان السطحي وحجم الجريان وذروة التصريف بواسطة اسلوب CSC-CN	٣١
٨	موقع الحوض الأعلى لوادي عرنة بالنسبة لمدينة مكة المكرمة	٤٠
٩	روافد الحوض الأعلى لوادي عرنة والأودية المجاورة له	٤١
١٠	التكوين الجيولوجي للحوض الأعلى لوادي عرنة	٤٥
١١	الأحواض الجزئية للحوض الأعلى وادي عرنة	٥٣
١٢	ارتفاعات السطح في الحوض الأعلى لوادي عرنة	٥٤
١٣	تربة الحوض الأعلى لوادي عرنة	٥٨
١٤	معدلات درجة الحرارة لمحطتي مكة والطائف من ١٩٧٠-٢٠٠٨م	٦٦
١٥	معدلات الرطوبة النسبية لمحطتي مكة والطائف من ١٩٧٠-٢٠٠٨م	٦٨
١٦	المعدلات السنوية للأمطار في الحوض الأعلى لوادي عرنة	٧١
١٧	غطاءات الأرض في الحوض الأعلى لوادي عرنة	٧٦
١٨	المجموعات الهيدرولوجية للتربة في الحوض الأعلى لوادي عرنة	٧٩
١٩	الأرقام المنحنية للحوض الأعلى لوادي عرنة	٨٤
٢٠	الأرقام المنحنية للأحواض الجزئية	٩١
٢١	توزيع قيم المعامل (S) في الحوض الأعلى لوادي عرنة	٩٣
٢٢	العلاقة بين S و CN	٩٥
٢٣	توزيع قيم المعامل (Ia) في الحوض الأعلى لوادي عرنة	١٠٠
٢٤	العلاقة بين CN و Ia	١٠٢
٢٥	العلاقة بين S و Ia	١٠٢

قائمة التشكالات

رقم الصفحة	عنوان الشكل	رقم الشكل
١٠٥	التوزيع المكاني لقيم لجريان السطحي الناشئة عن مطر ١٨ ملم في الحوض الأعلى لوادي عرنة	٢٦
١٠٩	العلاقة بين CNS و Q الناشئة عن مطر ١٨ ملم	٢٧
١١١	تحديد عتبة عمق الجريان في الحوض الأعلى لوادي عرنة	٢٨
١١٥	مخطط تنبؤي لعمق الجريان السطحي بناءً على قيم CNS في الحوض الأعلى لوادي عرنة	٢٩
١١٨	التوزيع المكاني لقيم الجريان السطحي الناشئة عن مطر ١٩١ ملم في الحوض الأعلى لوادي عرنة	٣٠
١٢١	التوزيع المكاني لقيم الجريان السطحي السنوي في الحوض الأعلى لوادي عرنة	٣١
١٢١	مستويات الجريان السطحي السنوي في الحوض الأعلى لوادي عرنة	٣٢
١٢٢	العلاقة بين معدل المطر السنوي والجريان السطحي السنوي	٣٣
١٢٤	التوزيع المكاني لحجم الجريان السطحي من عاصفة ١٨ ملم في الحوض الأعلى لوادي عرنة	٣٤
١٢٥	التوزيع المكاني لحجم الجريان السطحي السنوي في الحوض الأعلى لوادي عرنة	٣٥
١٣٥	مخطط وحدة ذروة التصريف	٣٦
١٣٩	ضيق مجرى وادي البجدي وصغر مساحة سهله الفيضي	٣٧
١٤٠	ظاهرة الأسر النهري المتوقع حدوثها في الحوض الأعلى لوادي عرنة	٣٨
١٤٣	منظر مجسم يوضح موقع مخطط الراشدية ٢ على مخرج وادي الجواز	٣٩
١٤٥	مواقع الأودية الجنوبية بالنسبة لمشعر عرفات	٤٠
١٤٧	المواقع المعرضة لمخاطر السيول في الحوض الأعلى لوادي عرنة	٤١

قائـة اللوحـة

رقم الصفحة	عنوان اللوحة	رقم اللوحة
١٤٢	تجمع مياه السيول وإعاقة حركة السيل في شارع ٦٤ بالشرايع	١
١٤٢	تجمع مياه السيول في المغمس	٢

الفصل الأول

المقدمة

- تمهيد
- موضوع الدراسة وأهميته
- أهداف الدراسة
- تساؤلات الدراسة
- الدراسات السابقة
- الإطار النظري
- الإجراءات المنهجية للدراسة

تمهيد:

يسعى الإنسان إلى استغلال موارده الطبيعية بالكيفية التي تضمن استمرارية تلك الموارد وفق أسس علمية صيغت بناءً على نتائج دراسات وأبحاث أُعدت من أجل ذلك. ويعد الماء أحد أهم عناصر منظومة تلك الموارد التي أوجدها الله عز وجل على كوكب الأرض. ولأنه عصب الحياة البشرية فقد كان محل اهتمام الحضارات منذ القدم، ففراعنة مصر أقاموا السدود على نهر النيل لري المزارع، وجلبوا المياه عبر قنوات مائية شيدها من القاهرة إلى السويس. وفي بابل سن حامورابي تشريعات تحدد سبل استخدام الماء بهدف ترشيد استهلاكه (الرفاعي، ١٩٨٥ م). وكان للحضارة اليونانية إسهامها في إبرازه كعلم، فظهر مصطلح الهيدرولوجيا Hydrology أي علم المياه لأول مرة عن طريقهم، والهيدرولوجيا كلمة مركبة شقها الأول Hydro. بمعنى الماء، والآخر logy. بمعنى علم. وحديثاً تصنف الهيدرولوجيا كأحد أفرع علوم الأرض، وتُعد بدراسة خصائص الماء من حيث وجوده وتوزيعه وحركته على سطح الأرض وفي داخل التربة وفي الصخور السفلية بالإضافة إلى الغلاف الجوي (درادكة، ١٩٩٩ م).

وتنقسم الهيدرولوجيا إلى قسمين رئيسيين هما، هيدرولوجيا المياه السطحية Surface Water Hydrology، وهيدرولوجيا المياه الجوفية Ground water Hydrology. وتهتم الهيدرولوجيا الجوفية بدراسة خصائص المياه تحت سطح الأرض، أما الهيدرولوجيا السطحية فتتبع بدراسة عناصر الدورة الهيدرولوجية المتمثلة في التساقط Precipitation، والتسرب Infiltration، والتبخر Evaporation، والجريان السطحي Runoff. ويرى البعض أن العلاقة بين الأمطار والجريان السطحي هي نواة أو ارتكاز هيدرولوجيا المياه السطحية (الشبلق، ١٩٩٥ م)، لأن الجريان السطحي هو المحصلة النهائية لمياه الأمطار، ويكشف عن حجم العمل الهيدرولوجي على السطح، وما يرتبط به من إمكانية استغلاله كمورد مائي طبيعي من ناحية، أو العمل على درء مخاطر السيول من ناحية أخرى.

والجريان السطحي هو ذلك الجزء من التساقط الكلي على الحوض المائي الذي ينساب على سطح الأرض وعلى المنحدرات متبعاً عدة مسارات حسب طبوغرافية المنطقة حتى يصل إلى النهر، أو إلى مجرى يحصر المياه ضمن مقطعة فيصب فيه ويصبح جزءاً منه (عبد العزيز،

١٩٩٦م؛ خضير، ١٩٩٨م). ويحدث الجريان السطحي نتيجة لتشبع التربة بالماء عقب سقوط الأمطار، وبالتالي فإن ما يزيد عن مقدرة الأرض على امتصاصه من ماء سوف يجري على المنحدرات باتجاه القناة الرئيسة.

وتتأثر كمية المياه المجتمعة كجريان سطحي قبل وحال نشوئها بعوامل تتحكم في مقدار وزمن ما يتسرب من الماء إلى داخل التربة. فنتسج الترب الخشنة كالترب الرملية يسمح بتغلغل المياه إلى داخل التربة، ويحدث عكس ذلك لنتسج الترب الناعمة كالترب الصلصالية والطموية المعرقله لتسرب المياه. كما أن الرطوبة المسبقة للتربة Antecedent soil moisture تقلل مقدار تسرب الماء في التربة وتنشئ بالتالي جرياناً سطحياً أعلى. ومن تلك العوامل أيضاً الغطاء النباتي، والذي بزيادة كثافته وتعميق جذوره يسمح بمقدار أكبر من المياه المتسربة في التربة؛ لأن جذور النباتات تعمل على إحداث فراغات أكبر بين حبيبات التربة مما يسمح بانتقال المياه من خلالها. وللانحدار علاقة عكسية مع التسرب، فمع زيادة الانحدار تزيد سرعة جريان المياه مما يقلل من مقدار تسربها في التربة.

وتصنف جميع العوامل السابقة على أنها عوامل طبيعية مؤثرة في الجريان السطحي. وليست العوامل الطبيعية وحدها هي المؤثرة في الجريان السطحي بل إن تأثيرات التنمية الحضرية تتحكم في مقدار ما يجري على السطح وما يتسرب في التربة، فعمليات الرصف وزيادة مساحات الأسطح المصمتة impervious surfaces التي لا تسمح بنفاد كميات كبيرة من الماء من خلالها، كالطرق ومواقف السيارات، والمباني، تؤدي هي الأخرى إلى سرعة نشوء الجريان السطحي (USDA , 1986, 1-1).

وفي البيئات الجافة وشبه الجافة يعتبر الجريان السطحي من أهم الموارد المائية نظراً لانخفاض معدلات التساقط السنوي، حيث يقدر المعدل العام للهطول السنوي في تلك البيئات بأقل من ٣٥٠ ملم. فعلى سبيل المثال، لا تزيد كمية المياه الساقطة على ٩٤٪ من مساحة الأردن عن ٢٠٠ ملم في السنة، ويقدر حجم الهطول السنوي في مصر بحوالي ٢٠٠ (آل الشيخ، ٢٠٠٦م)، وفي المملكة العربية السعودية يتراوح المعدل السنوي للأمطار ما بين ٥٠ - ١٠٠ ملم، بينما تزيد عن ٢٥٠ ملم في الأجزاء المرتفعة خاصة في جنوب غرب المملكة (الأحيدب ، ٢٠٠٠م). وقد

فرضت هذه الندرة الشديدة في معدلات التساقط قديماً على سكان الصحاري في تلك البيئات حياة الترحال حيثما تهطل الأمطار وتتوفر المياه.

ومع اتساع أفق المعرفة الإنسانية وتطور العلوم وتعدد مجالات وطرائق البحث العلمي حظي الجريان السطحي بكم وافر من الدراسات النظرية والتجريبية، فإضافة لكونه أحد عناصر الميزان المائي الذي يكشف عن مقدار الموازنة بين المصادر المغذية للمخزون الجوفي وأوجه الاحتياج المتعددة، فإن الجريان السطحي هو أحد أهم المصادر المغذية لمياه الأنهار والبحيرات والجداول المائية. وفي البيئات الجافة وشبه الجافة المفتقرة إلى المياه السطحية دائمة الجريان تستثمر مياه الجريان السطحي من خلال مشاريع تكفل الحفاظ عليها، فإلى وقت قريب كان إنشاء السدود هو الحل المتعارف عليه لحفظ مياه الأمطار المشكلة للجريان السطحي، إلا أنه ومع التقدم العلمي طبقت أساليب أخرى أكثر جدوى تمثلت في حصاد مياه الأمطار والجريان السطحي وتخزينها بتطبيق العديد من الأساليب كإنشاء الغدران الاصطناعية، وحفر آبار الخزن الاصطناعية (آل الشيخ، ٢٠٠٦م؛ سالم ١٩٩٩م).

ولا تقتصر الغاية من دراسة الجريان السطحي على توفير مياه الشرب وري المزارع، أو تغذية المخزون الجوفي فحسب، بل يدرس الجريان السطحي أيضاً بهدف تقوم مستوى خطر الفيضانات Flood Hazard المحتملة. فعندما تعجز القنوات الطبيعية والصناعية عن استيعاب المياه المجتمعة عقب سقوط الأمطار فإنها تشكل سيول وفيضانات تندفع وفق الانحدار نحو مخرج الوادي وتحتاج كل ما يواجهها، فتغمر المزارع والشوارع والأنفاق والأرصفة محدث الخراب والدمار. لهذا فإن الجريان السطحي يدخل ضمن الدراسات الأولية المتعلقة بمشاريع التخطيط الحضري والخدمات حيث ينصب اهتمام تلك الدراسات على تحديد المواقع المثلى لإنشاء المشروعات والخدمات المعتمت تنفيذها وفق معايير تكفل إقامتها في مواقع الأمن السيلي، فعند إنشاء المخططات السكنية يؤخذ في الاعتبار بعدها عن مجاري السيول. وكذلك الحال في دراسات تقييم مواقع الخدمات المقامة سلفاً، فقد طبق معيارا مجاري السيول ومناطق تجمع السيول ضمن المعايير المستخدمة في تقييم مواقع المدارس الحكومية للبنات بمدينة مكة المكرمة (الرحيلي، ٢٠٠٦م).

ومن خلال نظرة عالمية لحجم المخاطر التي تسببها الفيضانات، فقد ورد في تقرير لمنظمة الفاو يتناول العوامل المسببة لنقص الغذاء أن كوارث المياه تصدرت قائمة الكوارث الطبيعية بنسبة ٤٤,٧٪ من جملة ما يحدث من كوارث طبيعية على مستوى العالم (www.fao.com). الأمر الذي دفع الحكومات والهيئات والمنظمات العالمية إلى عقد العديد من المؤتمرات والندوات المتعلقة بدراسة الكوارث الطبيعية بما فيها السيول والفيضانات من حيث توزيعها وأسبابها وما تُخلفه من آثار اقتصادية وبيئية، ومناقشة سبل إنشاء أنظمة الإنذار المبكر Warning System for Management During Emergency للتقليل من الخسائر الناجمة عنها. كمؤتمر اليابان الذي عقد في عام ٢٠٠٧م حول الأمن المائي والكوارث المائية، وندوة سلامة المباني وإدارة الكوارث التي تعقد سنوياً في المملكة العربية السعودية تحت إشراف وزارة الشؤون البلدية والقروية.

ولم يقتصر الاهتمام العالمي بالفيضانات إلى هذا الحد بل إن الصين خطت خطوة أبعد من ذلك بإطلاقها قمرين صناعيين ضمن سلسلة أقمار تعتمز إطلاقها إلى الفضاء الخارجي مهمتها مراقبة البيئة والكوارث الطبيعية لزيادة المقدرة على التنبؤ بحدوث تلك الكوارث كالفيضانات والزلازل وحرائق الغابات (www.arabic.people.com) و (www.arabic.xinhuanet.com)

ويوجد في البلدان المتقدمة ما يسمى بإدارة السيول أو الجريان السطحي Flood and runoff Management لإدارة مياه السيول و الجريان السطحي بغية استثمارها أو درء خطرها، مما يستلزم معرفة مقدار المياه الناجمة عن العاصفة المطرية Rain storm. ويتم ذلك في العادة من خلال القياسات المباشرة في المحطات الهيدرومترية، ولكن إنشاء مثل تلك المحطات في كل الأحواض يعد مستحيلاً؛ لارتباطها بالكلفة العالية من حيث الإنشاء والتشغيل، والذي نتج عنه انعدام المعلومات الضرورية عن الجريان السطحي في كثير من أحواض التصريف المائي، خاصة في بلدان العالم الثالث. وقد كانت الولايات المتحدة الأمريكية سباقة في الاستعانة بالطرق والأساليب الرياضية في تقدير الجريان السطحي لتخطي حاجز المحطات الهيدرومترية وهو ما يعرف بالهيدرولوجيا التحريبية (AL-Ghamdi, 1991) ، فقد تمت صياغة العديد من الحلول الرياضية المتعلقة بحساب الجريان السطحي وخصائصه الأخرى كسرعته، وأعلى قمة له، ومقدار حجمه، وقوته وغير ذلك وفق رؤى فلسفية تنطلق من مدى فهم ديناميكية الجريان السطحي

والعوامل المؤثرة فيه. ومن أشهر الحلول في هذا الإطار ما يعرف بنموذج الأرقام المنحنية للجريان السطحي Runoff Curve Number Method الذي صممه مصلحة صيانة التربة الأمريكية Soil Conservation Services لحساب الجريان السطحي، وهو ما يعرف اختصاراً بطريقة (SCS - CN) ويعتمد هذا النموذج بشكل رئيس على أنواع غطاءات الأرض، وسرعة تسرب الماء في التربة لاستخلاص قيم (CN) من الجداول الخاصة بها، وقد استخدمت الباحثة هذا النموذج لتقدير كمية الجريان السطحي في الحوض الأعلى لوادي عرنة. كما طبق نموذج مخطط قمة التصريف Graphical Peak Discharge Method (GPDM) لتقدير قمة ذروة التصريف في الحوض الأعلى لوادي عرنة.

وفي ظل الثورة التقنية وتقدم تكنولوجيا الحاسب الآلي، وتدفق كم هائل من المعلومات المتجددة عن كوكب الأرض من خلال بيانات الأقمار الصناعية، وتطور برمجيات نظم المعلومات الجغرافية أصبح بالإمكان صياغة الحلول الرياضية المتعلقة بحساب الجريان السطحي عن طريق توظيف تقنيات الاستشعار عن بعد Remote Sensing ونظم المعلومات الجغرافية Geographic Information Systems من أجل الحصول على تفاصيل أدق عن الجريان السطحي، فتقنية الاستشعار عن بعد توفر قاعدة المعلومات الضرورية من خلال القيم الضوئية Brightness Values للطاقة الكهرومغناطيسية المثلة للخصائص الطبيعية والبشرية التي على ضوءها يحدث الجريان السطحي، وتلك المعلومات غاية في الدقة المكانية والطيفية Spatial and spectral resolution لأنها تسجل على مستوى الخلية pixel unit، فكلما كانت دقة التمييز المكانية عالية كانت المعلومات المستخلصة أكثر تفصيلاً من حيث المكان، وبالتالي توفر كمّاً كبيراً من المعلومات التي من خلالها يمكن تقدير الجريان السطحي، وكلما كان عدد النطاقات الطيفية spectral bands أكثر في بيانات اللاقط sensor كانت معلوماتنا أكثر وفرة عن الأهداف في الخلية من المرئية (الداغستاني، بدون تاريخ؛ ليلساند، ١٩٩٤م). ويتم إدارة ذلك الكم الكبير من المعلومات ومعالجتها، وإعداد الطبقات، وتنظيمها، وتحليلها، وعرضها عن طريق نظم المعلومات الجغرافية، فهي نظام متكامل قادر على إدارة كم كبير من المعلومات مهما اختلفت مصادرها وهيئاتها وتعددت طبقاتها، ويتألف نظام المعلومات الجغرافي في العموم من ثلاثة مراحل هي:

إدخال البيانات، ومعالجتها وتحليلها، ثم عرضها على هيئة خرائط وجداول وأشكال بيانية، ومن ثم الوصول إلى أحكام بشأن المشكلة قيد الدراسة.

وقد كانت دقة النتائج مع سرعة الوصول إليها، وتعدد أساليب المعالجة، واختزال مراحل العمل الحقلية، وإدارة الكم الكبير من المعلومات المستخلصة هي المسوغ لاعتماد هذه الدراسة على تقنيي الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في تقدير الجريان السطحي والمخاطر السيلية في الحوض الأعلى لوادي عرنة من خلال بناء قواعد بيانات هيدرولوجية متعددة ابتداءً من وحدة الخلايا فالأحواض الجزية وانتهاءً بالحوض ككل.

أولاً: موضوع الدراسة وأهميته

تعرض أحواض التصريف في البيئات الجافة وشبه الجافة بما فيها المملكة العربية السعودية لسيول مبالغتة غير منتظمة الحدوث تشكل خطراً على مناطق الاستيطان البشري وعلى أوجه الاستثمار البشري كالمزارع وغيرها. ويزداد الوضع خطورة في حال تغير أجزاء من حوض التصريف من غطاء طبيعي إلى غطاء حضري بحيث تزيد مساحات المناطق غير المنفذة للماء كالمباني والطرق والأرصفة ومواقف السيارات. من أجل ذلك دعت الحاجة إلى إيجاد حلول كفيلة بالتقليل من مخاطر السيول كإنشاء السدود أو تحويل مسارات الأودية، أو إقامة شبكات صرف اصطناعية. تلك الحلول تركز بصورة رئيسة على تقدير كمية الجريان السطحي ومعرفة مقدار حجم المخاطر الناجمة عنه، وحيث أن معظم أحواض التصريف تفتقر لوجود محطات رصد السيول لذلك فإنه من خلال الحلول الرياضية يمكن معرفة مقدار المياه الجارية عقب سقوط الأمطار في أحواض التصريف المائي.

وتسعى هذه الدراسة إلى تقدير الجريان السطحي ومخاطره السيلية في الحوض الأعلى لوادي عرنة من خلال تطبيق نموذج الأرقام المنحنية للجريان السطحي Runoff curve numbers model أو طريقة CSC - CNs باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لمعرفة كمية الجريان السطحي في الحوض الأعلى لوادي عرنة والمخاطر السيلية فيه فالخوض يعتبر من أهم الأحواض المائية المجاورة لمدينة مكة المكرمة، ومن أكثرها عرضة لمخاطر

السيول، إذ يشهد نمواً عمرانياً مطرداً، كما أن مشعر عرفات يقع في منطقة مخرج الحوض مما قد يعرض أعداد كبيرة من الحجاج سنوياً لمخاطر السيول.

ويتميز نموذج الأرقام المنحنية للجريان السطحي المستخدم في هذه الدراسة بتفصيله الشديد لغطاءات الأرض واستعمالاتها، وتحديد الحالة المسبقة لرطوبة التربة، وتحديد مقدار سرعة نفاذية الماء إليها من خلال أربعة مجموعات هيدرولوجية للتربة. مما يسمح بإمكانية تحديد مدى إسهام كل صنف من استعمالات الأرض وغطاءاتها في نشوء الجريان السطحي. وبذلك فإن هذا النموذج يتلافى القصور في حلول أخرى لا تدخل غطاءات الأرض واستعمالاتها وخصائص التربة وحالتها في حسابها للجريان السطحي كما سيتبين ذلك لاحقاً.

ثانياً: أهداف الدراسة

تهدف هذه الدراسة إلى تحقيق ما يلي:

١. بناء قاعدة بيانات لغطاءات الأرض واستعمالاتها للحوض الأعلى لوادي عرنة لأغراض هذه الدراسة، وأي دراسة مستقبلية أخرى متعلقة بالحوض.
٢. بناء قواعد بيانات هيدرولوجية تفصيلية للجريان السطحي وقمة التصريف للحوض الأعلى لوادي عرنة.
٣. تحديد مكامن الخطر السيلي في حوض وادي عرنة والخروج بتوصيات للحد من تلك المخاطر.

ثالثاً: تساؤلات الدراسة

تسعى هذه الدراسة للإجابة على تساؤلين:

١. ما مقدار كمية الجريان السطحي الناتجة عن حدوث عاصفة مطر معينة على الحوض الأعلى لوادي عرنة لكل خلية في الحوض، وفي الأحواض الجزئية، ولجمل الحوض؟
٢. ما هو حجم المخاطر السيلية المتوقعة في الحوض الأعلى لوادي عرنة، وأي الأحواض الجزئية أكثر خطورة على مواطن الاستيطان البشري في الحوض؟

رابعاً: الدراسات السابقة

على ضوء ما توفر للباحثة من الدراسات والأبحاث حول موضوع الدراسة والمنهج المتبع فيها فقد صنفت الباحثة تلك الدراسات بناءً على موضوعاتها والمناهج المستخدمة فيها دون التقيد بالحدود المكانية أو الزمانية بهدف تسليط الضوء على الأساليب المتبعة في دراسات الجريان السطحي والمخاطر السيولية. وذلك على النحو التالي:

١- الدراسات المتعلقة بتقدير الجريان السطحي

هنالك عدد لا يحصى من الدراسات التي طبقت خارج الوطن العربي فيما يتعلق بالجريان السطحي من زوايا عديدة منها على سبيل المثال (Huang, 2004; Mishra, 2006)، وكان تركيز الباحثة الأكبر على الدراسات العربية باعتبار أن أغلبها ينتمي إلى نفس البيئة، ومن ثم تكون الاستفادة منها أكبر. وبعد مراجعة حثيثة للأدبيات العربية، وجدت الباحثة أن الدراسات المهمة بتقدير الجريان السطحي قليلة جداً، بل إن الكثير منها عرج إلى تقدير الجريان السطحي ضمن تطبيقات هيدرولوجية أخرى تطلبت حساب الجريان السطحي. ويستثنى من تلك الدراسات، دراسة راضي (١٩٩٥ م) عن العلاقة بين التساقط والجريان السطحي في وادي سمائل بسلطنة عُمان بتطبيق نموذج CIA المعدل أو ما يعرف بالطريقة المنطقية Rational Method بهدف معرفة أثر الخصائص الجيومورفولوجية واستخدامات الأرض على النظام الهيدرولوجي للحوض. ووجد الباحث أن كمية الأمطار الساقطة وطول فترة التساقط هما المحدد الرئيس لحجم المياه، أما أثر الخصائص الجيومورفولوجية فقد ارتبط تأثيرها بتفاوت الجريان السطحي ومعدلات التسرب. كذلك طبق بالخير (٢٠٠٨ م) نموذج (GIUH) للتنبؤ بتدفق السيول عند مخارج الأودية وطبق على وادي خاط وجوف جنوب غرب المملكة العربية السعودية. وقد اختار الباحث أربعة عواصف مطرية مرصودة السيول لكلا الوادين لمقارنة النتائج التي سيتم التوصل إليها من خلال النموذج الرياضي بالبيانات المرصودة في المحطات فوجد أن النتائج المتحصل عليها بواسطة نموذج (GIUH) كانت مطابقة وبصورة كبيرة للبيانات المرصودة مسبقاً في سجلات المحطات.

ومن ناحية أخرى فقد اهتمت بعض الدراسات بإتباع الأساليب التقنية في دراسة الجريان السطحي كدراسة الغامدي (AL-Gamdi, 1991) التي هدفت إلى المقارنة بين طريقتين مختلفتين لحساب الجريان السطحي من خلال نموذج SCS باستخدام بيانات اللاقط TM بغية اختبار فاعلية بيانات الأقمار الصناعية في تحديد قيم CN فالطريقة الأولى والتي أطلق عليها الطريقة التقليدية Conventional تقوم على المعالجة الآلية لبيانات الأقمار لتصنيف غطاءات الأرض واستعمالاتها وتصنيف الفئات الهيدرولوجية للتربة ومن ثم حساب قيم CN. أما الطريقة الثانية والتي أطلق عليها الخريطة الضوئية فلا تتطلب تصنيفات أو معلومات للتربة. فهي تقوم على الربط المباشر بين قيم الانعكاس ومعادلة الجريان السطحي، وكانت النتائج المتحصل عليها بواسطة الطريقتين متطابقة إلى حد كبير. كما أنه قارن بين النتائج التي حصل عليها بنتائج فريق عمل مستقل كلف بتقدير الجريان السطحي لنفس منطقة الدراسة من قبل مصلحة صيانة التربة لمقارنة نتائج طريقي العمل التي اتبعها الباحث بنتائج طريقة العمل الحقلية المتبعة لدى مصلحة صيانة التربة فكانت النتائج أيضاً متطابقة بين الطرق الثلاثة. ووجد بأن بيانات النطاقين السادس والثالث كانت أفضل المتغيرات الطيفية لتقدير CN .

وقد اختارت شموط (Shammout, 2003) في أطروحتها للدكتوراه تطبيق نموذج SCS-CN لتحديد تأثير استعمالات الأرض في حوض وادي الزرقاء بالأردن من خلال تصنيف غطاءات الأرض واستعمالاتها باستخدام مرئيات لاندسات، وقد خلصت إلى أن بيانات الأقمار الصناعية كانت وسيلة نافعة جداً في تصنيف غطاءات الأرض في الحوض. ومن ناحية أخرى توصلت الدراسة إلى أن الرطوبة المسبقة للتربة وتغيرات غطاءات الأرض كانت من أهم العوامل المؤثرة في تغير الجريان السطحي بين أنحاء الحوض.

أما الدراسات الهيدرولوجية التي تطرقت لحساب الجريان السطحي كأحد المعطيات المهمة للوصول إلى أهدافها، فقد كان منها دراسة سورمان (Sorman, 1993) التي اعتمدت على نموذج TR55 لحوض وادي تباله بالمملكة العربية السعودية ، ودراسة الديدي (EL-Dide, 1998) التي استخدمت نموذج الأرقام المنحنية للجريان السطحي في دراسة التصريف الهيدروليكي لوادي هدى الشام ووادي عسفان، وقد أوصى الباحث بتطبيق المنهج

الذي استخدمه في دراسته والمعتمد على نموذج الأرقام المنحنية لأودية أخرى نظراً لدقة النتائج التي يمكن الحصول عليها من خلال هذا النموذج. كذلك عمل المومني (١٩٩٧ م) من خلال دراسته لهيدرولوجية حوض وادي الموجب بالأردن على تقدير الجريان السطحي من خلال تطبيق نموذج الأرقام المنحنية للجريان السطحي.

ومن ناحية أخرى عنيت بعض الدراسات الهيدرولوجية بمسائل الجريان السطحي، ومنها دراسة البارودي ومرزا (٢٠٠٥ م) عن السمات المورفولوجية والخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لأودية الحرم المكي. وقد اقتصر الباحثان في بيان الوضع الهيدرولوجي لأودية الحرم المكي على معامل الفيضان وزمن التركيز وسرعة الجريان السطحي، وتوصل الباحثان إلى أن عمليات الرصف وتشديد المباني أدت إلى قلة النفاذية مما أدى إلى تحول مياه الأمطار إلى جريان سطحي. كذلك اعتمد الحواس (٢٠٠٧ م) على مؤشرات جيومورفولوجية للاستدلال على هيدرولوجية شعيب السلحية وتوصل إلى أن أمد الجريان في الشعيب يتسم بالقصر مستدلاً على ذلك بقصر المسافة التي تقطعها الرواسب مع المياه، واستدل من خلال حجم حبيبات الغطاء الرسوبي في قاع قنوات التصريف على ضعف متوسط الجريان السنوي. ورأى الباحث إن فقر الغطاء النباتي وتشتته واقتصار نموه على حواف الوادي وسهله الفيضي كان دالاً على قلة المخزون المائي في الرواسب الفيضية لشعيب السلحية.

٢- الدراسات المتعلقة بمخاطر السيول:

يمكن تصنيف دراسات مخاطر السيول من حيث المنهج المستخدم فيها إلى قسمين رئيسيين، حيث يختص القسم الأول بالدراسات التي اهتمت بوصف ظاهرة السيول والفيضانات من واقع المشاهدات الحقلية أو بالاستعانة ببيانات الأقمار الصناعية ولم تلجأ لتطبيق أي من النماذج الرياضية المتعلقة بحساب الفيضانات ، أما القسم الثاني فيختص بالدراسات التطبيقية التي عملت على تقدير ذروة التصريف من خلال تطبيق النماذج الرياضية.

وتمحورت دراسات القسم الأول حول دراسة الفيضانات من حيث أسباب حدوثها، وامتداداتها، وأضرارها البيئية والاجتماعية والنفسية، وآليات الحد من أخطارها كدراسة عثمان (٢٠٠٨ م) لفيضان نهر النيل في السودان، وأبوصفط (٢٠٠٨ م) حول أخطار الفيضانات في

الضفة الغربية بفلسطين، وعبد الحافظ (٢٠٠٨ م) في دراسة قرى السيول في صعيد مصر، ومذحجي (٢٠٠٨ م) في تحليله لأسباب السيول في مدينة تعز، والدوسري (٢٠٠٨ م) في إدارة السيول الجارفة في منطقة الشعبية الصناعية جنوب الكويت، والمشرقي (٢٠٠٨ م) في دراسته عن كوارث السيول في شرق وسط اليمن. وشاكر (٢٠٠٨ م) في دراسة الأخطار الهيدرولوجية على السطح والمدارات الحضرية بالمغرب. أما دراسة الجعيدي (٢٠٠٥ م) فقد اعتمدت على تقنية الاستشعار عن بعد في تحديد امتداد الفيضان في سهل الخرج من خلال استخدام مرئيات فضائية عالية الوضوح المكاني بواسطة دمج بيانات اللاقطين البانكروماتي والمتعدد الأطياف للقمر سبوت-٥ الفرنسي، ومن ثم تطبيق تحليل المركبات الرئيسة على المرئيات قبل الفيضان وبعده. ثم أُخضعت كل مرئية للتصنيف الموجه. ليتمكن الباحث بعد ذلك من إنشاء خريطة للمناطق المعرضة لخطر الفيضان في سهل الخرج.

وفيما يختص بالدراسات التطبيقية التي استخدمت النماذج الرياضية في تقدير ذروة التصريف، فقد عمل غانم (٢٠٠٨ م) على استخدام نموذج الأرقام المنحنية للجريان السطحي في تقدير حجم الفيضان الأقصى والمساحة المغمورة من خلال دراسته لأسباب الفيضانات في المناطق الجافة وشبه الجافة بالتطبيق على مدينة معبر اليمنية وتوصل الباحث إلى أن أسباب فيضانات مدينة معبر ترتبط بجملة من العوامل الطبيعية والبشرية ، كما أن حجم المياه المتوقع تولدها خلال حدوث العاصفة على كامل الحوض قادرة على غمر أجزاء واسعة من المدينة، وأشار الباحث إلى أن استغلال المياه المتولدة من مناطق المرتفعات الجبلية يعزز من الاستفادة من مياه السيول عن طريق إنشاء مشاريع حصاد المياه.

وعمل الجعيدي وبوروبة (٢٠٠٨ م) على تطبيق نموذج سنايدر لتقدير تدفق الذروة للسيول في حوض وادي العين بالخرج، وهذا النموذج يضم في مدخلاته بعضاً من المتغيرات المورفومترية والتي تم استخلاصها من بيانات القمر الفرنسي سبوت-٥ لتقدير ذروة التدفق السيلي. كما عملا على حساب زمن التركيز والتدفق النوعي، وحجم الجريان السطحي وعمقه وقوته لمعرفة الخصائص الهيدرولوجية لسيول حوض وادي العين.

كذلك استخدم بوروبه والفراء (٢٠٠٨ م) نموذج سنايدر في تقدير تدفق الذروة لسيول روافد وادي حنيفة وإجراء مقارنة بين الخصائص الهيدرولوجية لأحواض أودية لبن، ونمار، وأوبير، ومهدية وصفار. حيث بلغت أعلى ذروة لتدفق السيول في حوض وادي نمار بينما سجل وادي أوبير أقل ذروة للتدفق. وكانت فترات استجابة أحواض تلك الأودية قصيرة تراوحت بين ١٢،١ ساعة في حوض وادي صفار إلى ١،٦٣ في حوض وادي لبن مما يدل على القدرة الكبيرة لهذه الأودية في تحويل مياه الأمطار إلى جريان سطحي في مدة زمنية قصيرة. وبالنظر إلى حجم السيول الأقصى لتلك الأودية وجد أن وادي لبن سجل أعلى حجم للسيول بينما بلغ أقل حجم للسيول في حوض وادي أوبير. وبناءً على قيم متوسط تدفق الذروة للسيول ومتوسط حجم جريانها ومعامل قوتها فإن حوض وادي نمار يأتي في المرتبة الأولى من بين روافد وادي حنيفة، يليه وادي لبن ثم المهديّة ثم صفار وأخيراً حوض وادي أوبير.

وبنفس الأسلوب عمل الجعيدي (٢٠٠٨ م) على تطبيق نموذج سنايدر لتحديد الخصائص الهيدرولوجية وخصائص السيول في أحواض السدود المقترحة على حوضي وادي العين وماوان. ووجد بأن الفارق بين القيم الدنيا والقصى في كلا الحوضين متساوية، بينما بلغت فترات استجابة سد حوض وادي العين لأقصى ذروة تدفق ١،٤٩ ساعة وفي سد حوض وادي ماوان بلغت ١،٢٨ ساعة بفارق ٢٠ دقيقة.

وكذلك عمل كل من الصبياني ويومي (Subyani & Bayumi, 2001) في دراسة الخصائص الطبيعية والهيدرولوجية لحوض وادي يللم على تطبيق نموذج سنايدر في تقدير كمية التصريف، وذروة التصريف، وحجمه خلال نصف ساعة لقطاعات الحوض الثلاثة ووجد أن أعلى ذروة للتصريف كانت للحوض الأول والذي يمثل ما نسبته ٣٨ ٪ من مساحة الحوض.

وبأسلوب آخر درس الزهراني وزملاؤه (٢٠٠٨ م) تقدير أقصى تدفق للفيضانات في وادي قنونة من خلال معايرة نموذج سنايدر وفقاً لطريقة الخريطة المائية الخاصة بإدارة هيئة المساحة الجيولوجية السعودية ليتلاءم مع بيئة المناطق الجافة وشبه الجافة.

وفي دراسة لعقاقة (٢٠٠٥ م) حول مخاطر الفيضانات على مدينة العلمة الواقعة في القطاع الأدنى من حوض وادي العلمة بالجزائر والذي يتكون من رافدين هما وادي جهادي

ووادي السارق استخدم الباحث أربعة طرق رياضية لحساب الجريان السطحي هي، معادلة سام و same، و معادلة مادينجير medinger، معادلة سوغريه Sogreah، وأخيراً معادلة كوتجن Coutagne. ووجد أن هنالك تفاوتاً كبيراً بين النتائج المتحصل عليها بين الطرق الأربعة. وأن نتائج طريقي سام و مادينجير متقاربة إلى حد ما إلا أن الباحث يرى بأنه لا يمكن الاعتماد عليهما للأحواض صغيرة المساحة كحوض وادي العلمة الذي تقدر مساحته كبيرة بنحو ١٧ كم^٢. أما المعادلتان الأخيرتان فقد أعطت من وجهة نظر الباحث نتائج منطقية لذا فقد اعتمد نتيجة معادلة كوتجن كقيمة قصوى للجريان السطحي، واعتمد نتيجة معادلة سوغريه كقيمة دنيا للجريان السطحي. ولا يبدو المبرر العلمي الذي أورده الباحث قوياً في استبعاده لنتائج المعادلتين الأولى والثانية، كما أن الباحث لم يورد تبريراً علمياً حول القبول بنتائج معادلتين كوتجن و سوغريه كقيمتين قصوى ودنيا للجريان السطحي، حيث أن المعادلتين لم تصمما لحساب القيم القصوى والدنيا للجريان سطحي. وبالإضافة إلى ما سبق فقد عمل الباحث على تحديد المناطق المعرضة لخطر الفيضانات على مستوى حوض الوادي، وعلى المستوى الحضري الذي تمثله مدينة العلمة وأخرجها في هيئة خرائط لحوض الوادي وعلى مستوى الأحياء في مدينة العلمة. كما قسم الباحث أثر الفيضانات إلى قسمين، الأول أطلق عليه التأثير الآني ويتمثل في غمر المياه، والخسائر المادية والبشرية. أما القسم الثاني فيختص بالأثر الدائم المتمثل في إتلاف التربة بفعل التعرية، وإتلاف وتلوث التربة.

وهنالك جانب من الدراسات التطبيقية التي اعتمدت على توظيف تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في دراستها للمخاطر السيولية كدراسة البحيري وزملائه (AL-Behiry and others, 2007) عن تحليل مخاطر السيول في منطقة العين السخنة الصناعية، حيث استخدم الباحثون نموذج ارتفاع رقمي (DEM) في استخراج المقاييس المورفومترية، كما استخدموا مرئيات الأقمار الصناعية بهدف تعزيز استخلاص شبكة التصريف السطحي. وحدد الباحثون الأحواض الجزئية الأكثر عرضة للفيضانات من خلال إيجاد قيم معاملات أعلى فيضان وأعلى قيمة للجريان السطحي، وحجم الفيضان السنوي. وفي ما يتعلق بوسائل تخفيف أخطار الفيضانات فقد اقترح الباحثون إنشاء مصدات لتأخير الفيضان، ووضع صخور على هيئة متعاقبة لجعل مسار التدفق متعرج، وبناء سدود اصطناعية في أنحاء الحوض لمنع جريان المياه في اتجاه

المجرى الرئيسي للوادي، كل هذه الإجراءات من شأنها تخفيف التدفق إلى المنطقة الصناعية والعين السخنة على الطريق السريع وزيادة المساحة المغذية لمخزون الطبقات الجوفية.

كذلك استخدم سورمان وزملاؤه (Sorman & others, 1994) تقنية الاستشعار عن بعد لتطبيق نموذج TR55 في تقدير ذروة الفيضان في الأحواض الصغيرة بالتطبيق على وادي عتود بجنوب المملكة العربية السعودية. وقد خلصت الدراسة إلى أن المعالجة الآلية لبيانات اللاقط TM للقمر لاندسات مناسبة جداً لتحويل المعلومات إلى أرقام بغية استخدامها كعوامل مساعدة في تطبيق نموذج TR55 لحساب ذروة التصريف.

٣- الدراسات المتعلقة بمنطقة الدراسة

لم تتوفر دراسات خاصة بمنطقة الدراسة، إلا أن بعض الدراسات تعرضت لأجزاء من حوض الوادي كدراسة الأعور (١٩٩٣ م) عن مشروع إنشاء خزان مائي في منطقة الجُعرانة الواقعة في أقصى شمال الشمال الغربي لحوض الوادي. وكان الهدف من المشروع هو توفير مصدر مائي لمدينة مكة المكرمة خلال فترات التضخم السكاني. وتقدر السعة الاستيعابية لهذا الخزان بحوالي ٦٠٠,٠٠٠ متر مكعب. وفي دراسة الثمالي (١٩٩٧ م) عن إمكانات التنمية الاجتماعية والاقتصادية في منطقة مركزي الزيماء والمضييق بمنطقة مكة المكرمة شملت هذه الدراسة قرى الصدر باعتبارها تابعة إدارياً لمركز المضيق. هدفت تلك الدراسة إلى تحديد إمكانات التنمية الاجتماعية والاقتصادية في المناطق الريفية واقتراح ما يمكن القيام به من خطط ومشاريع تنمية على ضوء فلسفة وسياسات التخطيط المعتمدة. وفي مجال الدراسات الطبيعية درست عواري (٢٠٠٥ م) الغطاء النباتي في حوض وادي نعمان شاملة في دراستها الحوض الأعلى لوادي عرنة. وتبين من خلال تلك الدراسة أن أشجار السلم *Acacia ehrenbergiana* والسممر *Acacia raddiana* والعُشر *Calotropis procera* تنتشر في شمال وشمال شرق الحوض وفي شرقه. أما نباتات الحرمل *Peganum harmala* فتنمو في جميع أنحاء الحوض. وتنمو أشجار العريعر *Juniperus phoenicea* في منطقة الجرف الانكساري في أقصى شرق الحوض.

خامساً: الإطار النظري

يمثل الإطار النظري الحدود المعرفية والنظريات والنماذج التي يدور في فلكها موضوع البحث. ومن خلاله تستعرض أهم موضوعات البحث وما تحويه من مصطلحات تفسر ماهية الظواهر، وأساليب العمل. وأهم الأطر النظرية الخاصة بهذه الدراسة هي كالتالي:

١- علم المياه Hydrology:

يندرج علم المياه ضمن علوم الأرض. وهو علم يهتم بدراسة المياه من حيث ظهورها وحركتها على السطح وتحت السطح، وفي الغلاف الجوي. وينطلق اهتمام الجغرافيين بهذا العلم من خلال دراستهم لخواص حركة المياه على السطح باعتبار أن مجال عملهم هو سطح الأرض. وتنقسم الهيدرولوجيا إلى الهيدرولوجيا السطحية و الهيدرولوجيا الجوفية. فبينما تهتم الهيدرولوجيا الجوفية بالمياه الجوفية من حيث وجودها وتوزيعها وحركتها، فإن الهيدرولوجيا السطحية تهتم بدراسة عناصر الدورة الهيدرولوجية (درادكة، ١٩٩٩ م) حال حدوث التساقط بكافة أشكاله والعوامل المؤثرة فيه إلى أن يعود ثانيةً إلى الغلاف الجوي ضمن سلسلة تعرف بدورة المياه في الطبيعة.

وتُعرف دورة الماء في الطبيعة بالدورة الهيدرولوجية، وهي عبارة عن سلسلة من الحوادث التي تصف حركة المياه المغلقة في الطبيعة بين أغلفة الأرض (الجوي، والمائي، واليابس) حيث يتبخر الماء من سطوح البحار والمحيطات والأنهار ويصبح سحباً تنقلها الرياح، وعند تكاثفه يتساقط على هيئة أمطار وثلوج ويرد. وتعد الأمطار من أهم أشكال التساقط فقبل وصولها إلى الأرض يتبخر جزء منها إلى الجو، وما يسقط على الأرض تستقبله النباتات والتربة والأسطح حيث يتبخر جزء منه مرة أخرى إلى الجو، والجزء الآخر من الماء يتسرب إلى داخل التربة مكوناً المياه الجوفية والمياه تحت السطحية. وقد يتبخر جزء منها بواسطة الخاصية الشعرية، وتستقبل النباتات جزءاً من ذلك التساقط فتحفظه ببعضه وتفقد الآخر من خلال النتح. وما يزيد عن مقدرة التربة على امتصاصه من ماء وما تستقبله الأسطح المصمتة يجري على السطح مشكلاً الجريان السطحي.

ويعتبر الجريان السطحي من أهم عناصر الدورة الهيدرولوجية، باعتباره مورداً مائياً تستوجب صيانته بإنشاء السدود للحفاظ عليه واستثماره في ري المزارع أو لإمداد المدن بما تحتاجه من مياه، وهذا في البيئات الطبيعية. أما في البيئات الحضرية فإن أهمية تقدير الجريان

السطحي ترتبط بتصميم قنوات تصريف مياه السيول في المدن أو لتقييم خطوط شبكة التصريف، بغية درء أخطاره. ويتم تقدير الجريان السطحي من خلال إنشاء محطات هيدرومترية على مجاري الأودية مزودة بأجهزة لقياس كميته، وسرعته وأعلى قمة له، وغير ذلك من خصائصه، إلا أن الكلفة المادية العالية جداً لإنشاء تلك المحطات وصيانتها حالت دون التوسع في إنشائها. ونظراً لانعدام القياسات الهيدرولوجية للجريان السطحي في كثير من أحواض التصريف السطحي، عمد الهيدرولوجيين وغيرهم من المهتمين بدراسة الجريان السطحي إلى بناء أساليب وطرق رياضية تجريبية يمكن من خلالها تقدير الجريان السطحي وخصائصه الأخرى، وتباين هذه الأساليب من طرق بسيطة تأخذ في حسابها متغيرات محدودة إلى أخرى أكثر تطوراً وتعقيداً تعتمد على جملة من المتغيرات المرتبطة والمؤثرة في الجريان السطحي بهدف الوصول إلى تقدير دقيق له وشرح أكثر مصداقية لخصائصه؛ لما يترتب على المعرفة الدقيقة بسمات الجريان السطحي من تصميم المشاريع المتعلقة بالنواحي التخطيطية والهندسية كإنشاء السدود وإقامة الجسور وتصميم قنوات التصريف وأنماط استعمال الأرض وغير ذلك.

٢- الحلول التجريبية لتقدير الجريان السطحي:

هنالك العديد من الأساليب المستخدمة في حساب الجريان السطحي التي يمكن تصنيفها إلى فئتين، فالفئة الأولى تشتمل على تلك الأساليب المعتمدة في حسابها للجريان السطحي على إيجاد قيمة تعرف بمعامل الجريان السطحي، ومتى ما وجدت قيمة ذلك المعامل تم التعويض مباشرة في معادلة الجريان السطحي وحساب كميته. وتعكس قيمة معامل الجريان السطحي في الغالب خصائص حوض التصريف Watershed characteristics الطبيعية والبشرية. ومن تلك الأساليب طريقة كوك Cook's Method وتعرف أيضاً بطريقة $\sum W$ (الدومي، ١٩٨١ م). ومعامل الجريان السطحي حسب طريقة كوك هو حاصل جمع معاملات خصائص حوض التصريف التي رمز لها بالرمز (CC)، فإذا عُلمت مساحة حوض التصريف وقيمة (CC) يقرأ الجريان السطحي مباشرة من جداول الجريان السطحي الخاصة بهذه الطريقة. ويؤخذ على طريقة كوك اعتمادها على بيانات مسجلة لأحواض تصريف تجريبية لمعرفة قيم خصائص حوض التصريف كقيمة التخزين السطحي، كما أن الجداول المستخدمة لقراءة قيمة الجريان السطحي

تصمم وفق عواصف مطرية لها سماها الخاصة (الدومي، ١٩٨١م)، كما تعتمد هذه الطريقة وبشكل كبير على رؤى الباحث وتقديره في تحديد خصائص حوض التصريف.

وهناك طريقة مشابهة في فكرتها لطريقة كوك، وهي طريقة الهندي بارلو، وقد حددها للأحواض التي تقترب مساحتها من ١٣٠ كم^٢. وحسب نظرية بارلو فإن الجريان السطحي هو حاصل ضرب معامل الجريان السطحي في مساحة الحوض، وتتوقف قيمة معامل الجريان السطحي على خمس صفات عامة لحوض التصريف تتدرج من A...E تقابلها ثلاثة صفات للعاصفة المطرية، فمثلاً، الفئة A مع صفة المطر 3 يعبر عنها بأراضي منبسطة ومزروعة وذات تربة هشّة تسقط عليها أمطار عنيفة، يقابلها معامل الجريان السطحي 0.15 (دراذكة، ١٩٩٩م). وتعطي هذه الطريقة قراءة سريعة جداً للجريان السطحي، وهي أشبه بمؤشر لتقدير الجريان السطحي الناشئ عن العواصف المطرية في حوض ما، لهذا لا يعتقد بأنه يمكن الاعتماد على نتائجها في إقامة المشاريع كإنشاء السدود أو تصميم قنوات تصريف مياه السيول.

وفي ما يتعلق بالفئة الثانية فهي تختص بالأساليب التي تعمل أولاً على إيجاد معدل التسرب، وبذلك فإن الجريان السطحي هو الفرق بين كمية المطر والتسرب، وتعرف هذه الطريقة بدليل التسرب Infiltration index. ومن أشهرها الدليل Φ -index، والدليل W-index (خضير، ١٩٩٨م؛ الشبلاق، ١٩٩٥م). ويدخل في حساب الدليل Φ كمية المطر المتساقط وزمن التساقط والجريان السطحي الملاحظ. أما الدليل W فيضاف لما سبق فإنه يأخذ في حسابه المفقود من الماء باعتراض النباتات، كذلك فإن القيمة الزمنية المدخلة لا تعبر عن زمن التساقط كما هو الحال في الدليل Φ بل تعبر عن الوقت الذي تزيد خلاله كثافة التساقط على سعة التسرب. أما دليل التسرب لهورتون Horton فيتميز عن الدليلين السابقين في أنه يأخذ في حسابه قيمة ثابتة تعبر عن خصائص النبات والتربة في حوض التصريف وإن كانت لا تقاس من الحقل بل يتم التوصل إليها مخبرياً ويلاحظ على دليل هورتون أنه جمع بين صفات الفئتين السابقتين.

وبخلاف الأساليب السابقة نحا خوسلاس ١٩٢٥م في حسابه للجريان السطحي منحاً آخرأً بأخذه في الاعتبار درجة الحرارة المثوية الشهرية لحوض الوادي، ويلاحظ أن جميع مدخلات

طريقة خوسلاس هي بيانات شهرية. وحسب هذه الطريقة فإن الجريان السطحي الشهري هو الفارق بين كمية الأمطار الشهرية والفاقد الشهري. ويتم التوصل إلى الفاقد الشهري من خلال ضرب معدل درجة الحرارة الشهرية في قيمة ثابتة قدرها بالقيمة 0.48 (درادكة، ١٩٩٩ م).

٣- المخاطر السيلية Flood hazards:

تتسم أمطار أودية المناطق الصحراوية وشبه الصحراوية بشدة الهطول وغزارته وقصر أمدته. فعند امتلاء مسامات التربة بالماء وتوقف التسرب عند معدل معين مع استمرارية سقوط الأمطار فإن المياه المتجمعة ستجري على المنحدرات في هيئة تدفق غطائي Sheet Flow مكونة سيولاً وفيضانات تندفع وفقاً لعامل الانحدار نحو مخرج الوادي أو مصبه. وهذه الظاهرة التي تتزامن مع تساقط المطر وبعده تشكل المخاطر السيلية. ويحدث الخطر السيلي عند سقوط كميات كبيرة من الأمطار تفوق القدرة الاستيعابية للقنوات الطبيعية والاصطناعية فتتساب على المنحدرات باندفاع قوي نحو المناسيب الأقل ارتفاعاً فتجتاح الترب والمزارع والطرق والكباري والمنشآت عموماً جارفةً معها أثناء تحركها نحو مخرج الوادي أو مصبه كل ما تستطيع حمله.

ويتم تقدير حجم المخاطر السيلية الناجمة عن العاصفة المطرية عن طريق معادلات رياضية تجريبية كنموذج توروزا، والمعادلة المنطقية، ونموذج بولداغوف (الشبلاق، ١٩٩٤ م) وغيرها. وتعطي تلك المعادلات قيمة ذروة التصريف Peak discharge في حوض الوادي. ومن خلال تلك القيمة يمكن تقدير مدى الخطر الذي ستعرض له مناطق الضفاف والسهول في حوض الوادي.

وتعتبر الطريقة المنطقية ونموذج سنايدر من أشهر النماذج الرياضية المستخدمة في تقدير قمة التصريف وأكثرها استخداماً من قبل الباحثين العرب. وتعرف الطريقة المنطقية Rational Method بنموذج CIA ، حيث أن قمة ذروة التصريف هي حاصل ضرب كل من مساحة الحوض A و شدة المطر I ومعامل الجريان السطحي C والثابت 0.278 ، وهذه القيمة أضافها دني وليوبولد Dunne & Leopold بهدف استخدام المقاييس المترية بدلاً من المقاييس الانجليزية (راضي، ١٩٩٢ م). إلا أن الطريقة المتبعة لاستخلاص معامل الجريان السطحي C يؤخذ عليها اقتصارها على ثلاثة أنواع عامة للغطاء النباتي مصنفةً تبعاً لثلاثة فئات للانحدار مع إهمال نوع

الغطاء وحالة نموه ومقدار المساحة التي يغطيها. كما أنها اقتصر على ثلاثة أنواع عامة للتربة، ولم يؤخذ في الاعتبار الحالة المسبقة لرطوبة التربة قبل دخول موجة المطر بالإضافة إلى أنها تشترط تماثل قدر التساقط على جميع أجزاء الحوض. أما نموذج سنايدر Snyder method فيعتمد في مدخلاته على بعض السمات المورفومترية لأحواض التصريف. ويتم حساب ذروة التصريف بواسطة نموذج سنايدر من خلال قسمة حاصل ضرب مساحة الحوض في معامل التخزين السطحي على فترة استجابة الحوض المائي لطول الأمطار. ونموذج سنايدر صمم للبيئات الرطبة (الزهراني، ٢٠٠٨ م) وبالتالي فإنه يناسب العواصف المطرية التي بإمكانها أن تحدث جرياناً سطحياً بعمق لا يقل عن ٢٥ ملم (بوروية، ٢٠٠٨ م) لذلك لا بد من معايرة نموذج سنايدر ليتلائم مع البيئات الجافة وشبه الجافة.

وهناك طريقة تالبوت Talbot المطورة عن معادلات ولسن موررو Wilson Morrow ، وعرفت فيما بعد بطريقة تالبوت المعدلة، والصيغة الأساسية لهذه المعادلات هي $(Q=C*W*A)$ حيث أن Q هي قيمة تصريف السيل و A تمثل مساحة الحوض، وهي مقسمة إلى أربعة أقسام. وتمثل C مجموع قيم أربعة عناصر هي، C1 وتعبّر عن ثلاثة فئات لمقدار جبلية الحوض، و C2 وهي لسبعة فئات لنسبة انحدار الحوض، و C3 التي تمثل ثلاثة فئات لشكل الحوض من حيث العرض إلى الطول. أما المعامل W فلا يوجد تعريف دقيق. بماهيته وهو يعكس أية اعتبارات يُرى ضرورة الأخذ بها بحيث يتراوح ما بين (٠,١ - ٢) (وزارة الشؤون البلدية والقروية، ١٤٢٥هـ). ويلاحظ على طريقة تالبوت المعدلة عموميتها، واقتصارها على بعض النواحي التضاريسية، وإهمالها لغطاءات الأرض واستخداماتها، ونوع التربة، ومقدار مساهمتها، وخصائص الغطاء النباتي. هذا بالإضافة إلى أن القيم الناتجة عن هذه الطريقة تعطي في بعض الأحيان قيماً عالية جداً أو منخفضة جداً مقارنة بقراءات محطات رصد السيول (Quraishi & Al-Hassoun, 1996).

سادساً: الإجراءات المنهجية للدراسة

استندت هذه الدراسة على المنهج التحليلي الوصفي القائم على تقنيتي الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، من خلال المعالجة الآلية للبيانات المستخدمة في الدراسة والمتمثلة في بيانات الأقمار الصناعية بصورة رئيسة، من أجل تحديد المتغيرات المساهمة في تشكيل الجريان السطحي ولخروج بتصوير أعمق عن طبيعة العلاقات بين المتغيرات المشتركة المسؤولة عن تشكل الظاهرة قيد الدراسة.

١- أنواع البيانات ومصادرها:

تعتبر البيانات على اختلاف أنواعها الركيزة الأساسية لأي عمل بحثي تطبيقي، فلا يمكن للبحث أن يقوم إلا من خلالها. وكلما تنوعت البيانات المستخدمة أمكن الحصول على نتائج أكثر دقة ومصداقية عن الظاهرة قيد الدراسة. كما أن تنوع البيانات قد يهيئ للباحث تطوير أساليب جديدة في العمل البحثي قد تكشف عن خصائص أخرى للظاهرة تساعد على فهمها بصورة أعمق.

وبالنسبة للبيانات المستخدمة في هذه الدراسة فقد تنوعت ما بين بيانات كمية ونوعية، كما تعددت طرق توظيفها. حيث تمثلت البيانات الكمية في مرئيات الأقمار الصناعية، ونماذج الارتفاعات الرقمية، والنشرات المناخية، والهيدرولوجية الخاصة بالأمطار. بينما ضمت البيانات النوعية الخرائط على اختلاف موضوعاتها والفئات المعلوماتية المستخدمة في التعرف على نوع استخدامات الأرض وغطائها. وهذه البيانات على النحو الآتي:

أ- مرئيات الأقمار الصناعية:

تعتبر البيانات الرقمية للأقمار الصناعية الأساس في استخلاص جميع المعلومات التفصيلية النوعية والكمية المتعلقة باستخدامات الأرض وغطائها في منطقة الدراسة. وقد استخدمت بيانات القمر الفرنسي سبوت (SPOT-5) الملتقطة في ٢٩/٩/٢٠٠٥م بدقة تمييز مكانية بلغت ١٠متر، لنطاق الأشعة الخضراء (٠,٥٠_٠,٥٩) ميكرومتر، ونطاق الأشعة الحمراء (٠,٦١_٠,٦٨) ميكرومتر، ونطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة (٠,٧٩_٠,٨٩) ميكرومتر، ونطاق الأشعة تحت الحمراء المتوسطة (١,٥٨_١,٧٣) ميكرومتر. كما تمت الاستعانة

بيانات القمر لاندسات لللاقط ETM لعام ٢٠٠٣م والذي يرصد الطاقة في ثمانية نطاقات طيفية، وقد تم الحصول على هذه البيانات من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية.

ب - نماذج الارتفاعات الرقمية:

استخدمت الدراسة نماذج الارتفاعات الرقمية DEMs بدقة تمييز مكانية بلغت ٣٠ متراً، صادرة عن قسم نظم المعلومات الجغرافية بمدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية. ووظفت نماذج الارتفاعات الرقمية للتعرف على الوضع الطبوغرافي والجيومورفولوجي للحوض الأعلى لوادي عرنة من خلال استخلاص شبكة التصريف السطحي للحوض وللأحواض الجزئية، وتحديد محيط الحوض ومحيط الأحواض الجزئية، واستخلاص بعض السمات الموفومترية والتضاريسية، وإعداد خرائط التضاريس، والانحدار وخطوط الكنتور.

ج - الخرائط:

وقد استعانت الباحثة بكل ما توفر من الخرائط الخاصة بمنطقة الدراسة ومدينة مكة المكرمة على اختلاف موضوعاتها ومقاييس رسمها بهدف التعرف على الملامح الطبيعية والبشرية لمنطقة الدراسة وذلك على النحو الآتي:

- تقع منطقة الدراسة ضمن مجموعة من الخرائط الطبوغرافية بمقياس ١:٥٠٠٠٠٠ وهي، لوحات سوق عكاظ، والطائف، والزيمة، ووادي نَعمان، وعين شمس، ومكة المكرمة.
- خريطة طبوغرافية بمقياس رسم ١:٢٥٠٠٠٠٠ لمربع مكة، صادرة عن هيئة المساحة الجيولوجية.
- خريطة جيولوجية بمقياس رسم ١:٢٥٠٠٠٠٠ لمربع مكة، صادرة عن هيئة المساحة الجيولوجية.
- الخريطة العامة للتربة بمقياس رسم ١:٢٥٠٠٠٠٠ لوحة مكة المكرمة، صادرة عن وزارة الزراعة والمياه.
- خريطة رقمية لمواقع تجمع السيول في مدينة مكة المكرمة، صادرة عن إدارة الدفاع المدني بمكة المكرمة.

○ خريطة مواقع العبارات في مدينة مكة المكرمة لعام ٢٠٠٢م، صادرة عن هيئة المساحة الجيولوجية.

○ خريطة شبكة تصريف مياه السيول في مدينة مكة المكرمة، صادرة عن إدارة مشاريع السيول بأمانة العاصمة المقدسة.

د- الإحصاءات والتقارير الحكومية:

لقد اعتمدت هذه الدراسة على العديد من التقارير والإحصاءات الحكومية التي تخدم أهداف الدراسة، وهي في مجملها تتعلق بالبيانات المناخية، والإحصاءات السكانية، وتقارير الدفاع المدني عن حوادث السيول، وقد أوردت تفصيلاً ضمن قائمة المراجع.

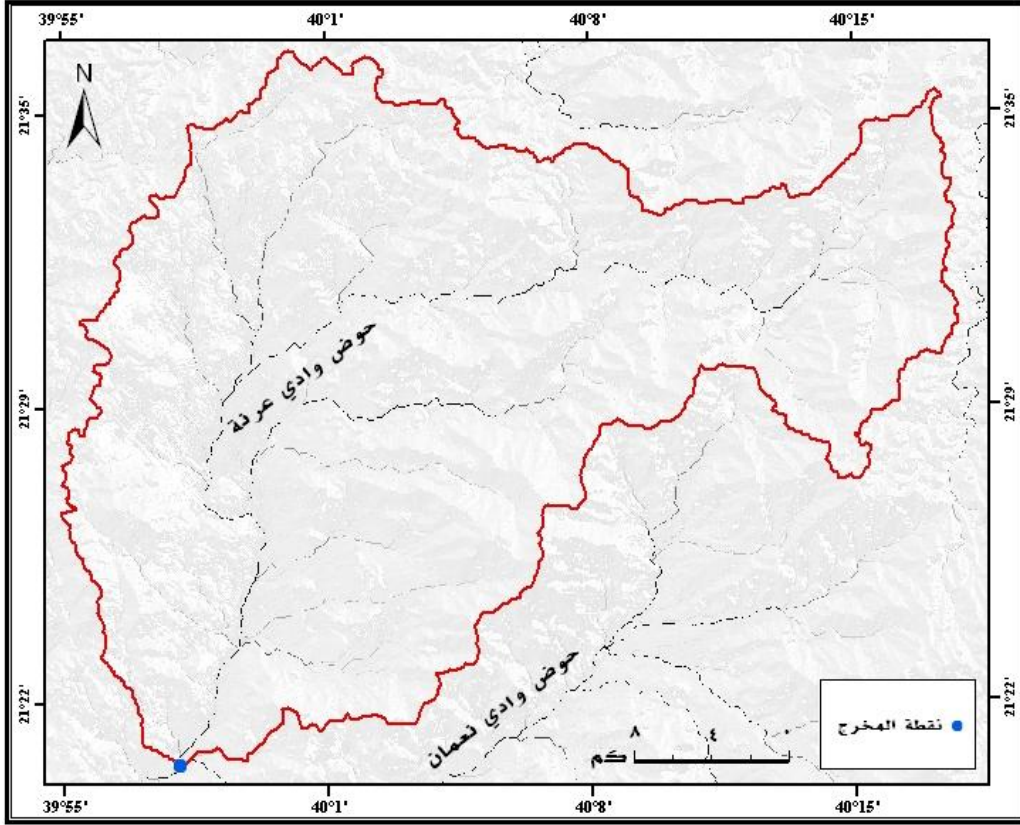
٢_ مراحل العمل وأساليب المعالجة:

وقد اشتملت على ثلاثة مراحل فرعية حسب نوع البيانات وأساليب معالجتها وذلك على النحو الآتي:

أ: مرحلة المعالجة الآلية لنماذج الارتفاعات الرقمية:

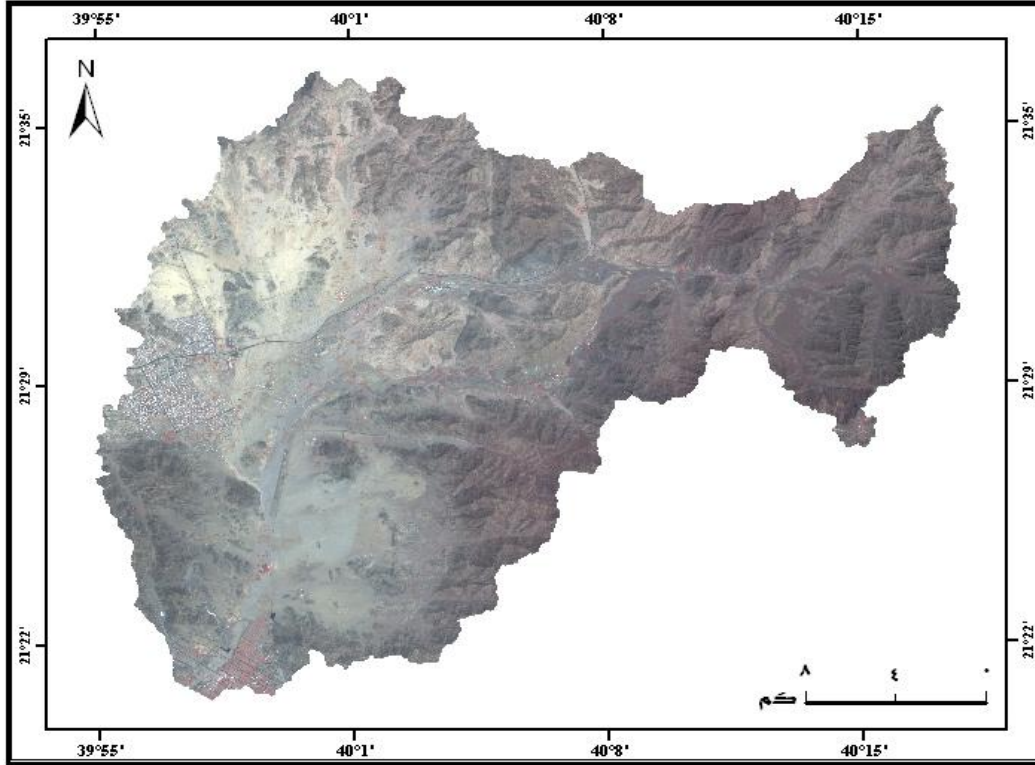
عولجت نماذج الارتفاعات الرقمية بواسطة برنامج TauDEM في بيئة ArcGIS من أجل استخلاص شبكة التصريف السطحي، ومن ثم تحديد نقطة المخرج للحوض (شكل رقم ١) وتبعد نقطة المخرج عن نقطة التقاء الحوض الأعلى لوادي عرنة مع حوض وادي نَعمان بنحو ١٨٦م. ثم استكملت خطوات المعالجة للحصول على ملف يحدد محيط الحوض (خط تقسيم المياه) وهو بمثابة طبقة الأساس، فبناءً على هذا الملف تم اقتطاع حدود منطقة الدراسة من مرثية سيوت (شكل رقم ٢)، ومن الخريطة العامة للتربة والخريطة الجيولوجية. وبنفس الأسلوب السابق تم تحديد الأحواض الجزئية لمنطقة الدراسة، والتي بلغ عددها ٢٥ حوضاً جزئياً كذلك استخدم ذلك الملف في الاقتطاع من نموذج الارتفاعات الرقمي قبل المعالجة (شكل رقم ٣) لإعداد طبقة تضاريس الحوض، وطبقات انحدارات الحوض والأحواض الجزئية، وذلك من خلال وظيفة تحليل السطح Surface Analysis ووظيفة إعادة التصنيف Reclassify المدرجتان ضمن وظائف المحلل المكاني Spatial Analyst.

شكل رقم (١) استخلاص الحوض الأعلى لوادي عرنة



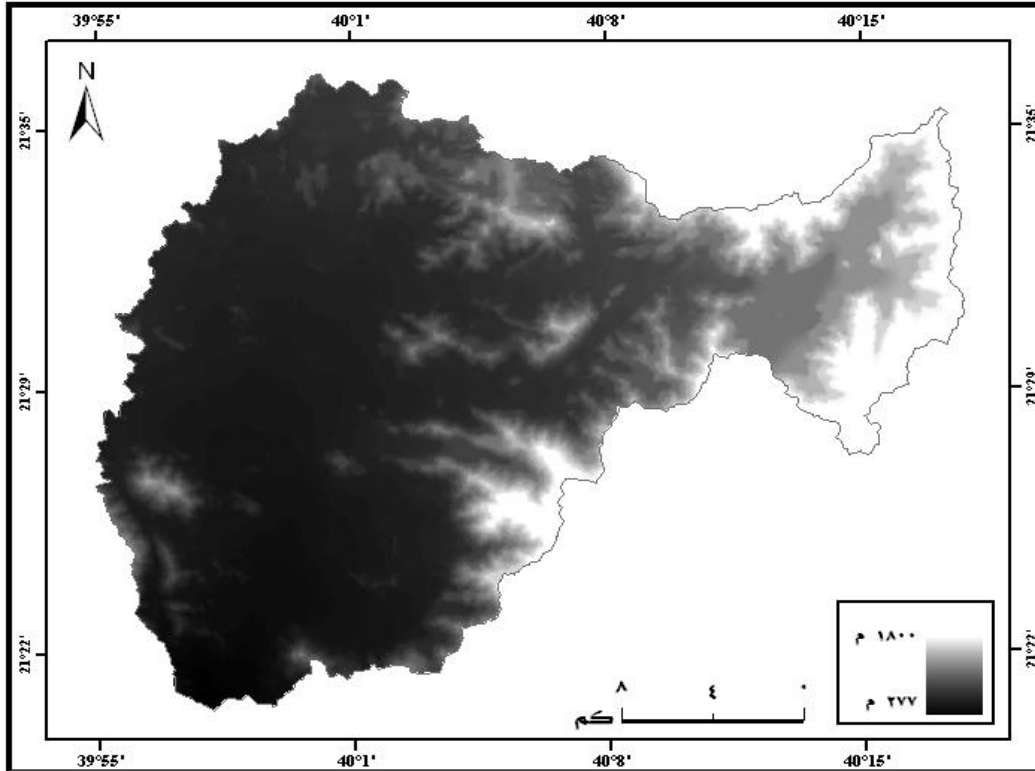
المصدر: الباحثة.

شكل رقم (٢) مرئية سبوت-ه للحوض الأعلى لوادي عرنة (RGB = 421).



المصدر: معهد بحوث الفضاء، مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية.

شكل رقم (٣) نموذج الارتفاع الرقمي للحوض الأعلى لوادي عرنة.



المصدر: مركز نظم المعلومات الجغرافية، مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية.

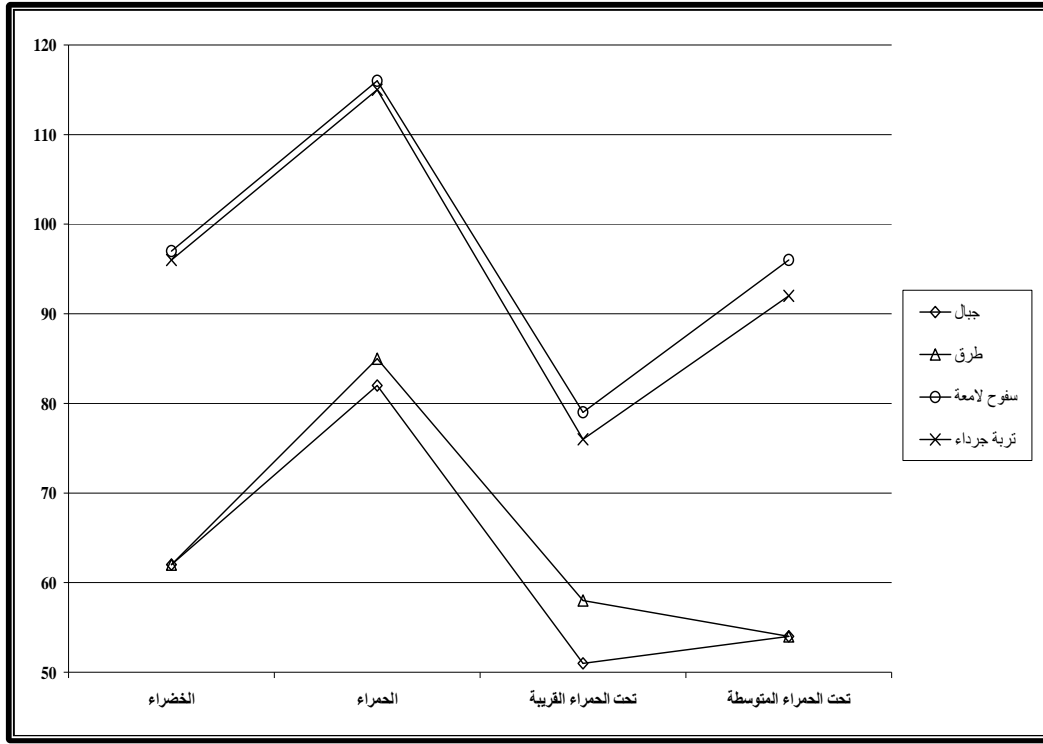
ب: مرحلة معالجة بيانات الأقمار الصناعية:

إن الهدف من معالجة بيانات الأقمار الصناعية هو الخروج بطبقة تمثل أنواع غطاءات الأرض في الحوض الأعلى لوادي عرنة، إذ هي إحدى المدخلات الأساسية في حساب الجريان السطحي كما سيرد لاحقاً.

وبالرغم من نفعية بيانات الأقمار الصناعية في عمليات التصنيف الآلي إلا أنه قد ارتبط بذلك بعض المشكلات المؤثرة على نتائج التصنيف (الغامدي، ٢٠٠٦م). لذا فإن أول إجراء يتبع قبل البدء في عمليات التصنيف أو تطبيق أي أسلوب من أساليب المعالجة الآلية هو فحص البيانات المستخدمة ومقارنة القيم الانعكاسية للظواهر ومدى تقاربها وتناورها. فالكثير من مشكلات التصنيف الآلي لبيانات الأقمار الصناعية تتلخص في تشابه السلوك الانعكاسي الطيفي لأهداف مختلفة في خصائصها ومكوناتها. ومن أجل ذلك طور العديد من أساليب تحويل البيانات Transformation، واستحدثت أخرى بهدف إبراز ظواهر معينة، أو لإيجاد فروق أكبر بين الظواهر المختلفة والمتشابهة في تفاعلها مع الطاقة (الغامدي، ٢٠٠٦م). وعند اختبار بيانات القمر الفرنسي سبوت SPOT المستخدمة في الدراسة وُجد أن الصخور الداكنة ذات انعكاسات مشابهة للطرق والمواقف الإسفلتية، كما أن السفوح الجبلية اللامعة المواجهة لأشعة الشمس تتشابه في عكسها للطاقة مع مناطق الإرسابات الناعمة والترية الجرداء (شكل رقم ٤)، لذلك كان لا بد من تطبيق بعض الحلول لفصل بين الظواهر المتشابهة في انعكاساتها والمختلفة في طبيعتها بإتباع أسلوب العزل وأسلوب التجزئة segmentation (الغامدي، ٢٠٠٦) ويقصد بالعزل استخدام طريقة العتبة Threshold لاستبعاد بعض الظواهر في المرئية قبل التصنيف. أما التجزئة فهي الاقتطاع المتكرر لبعض الأهداف في المرئية ومن ثم عزل تلك الأهداف وتصنيفها أو معالجتها بأي من طرق المعالجة ثم دمجها مع الأجزاء المقتطعة الأخرى أو مع المرئية الأصلية. وما يلي شرح للإجراءات التي استخدمت في ذلك:

أولاً: نظراً لاستحالة عزل شبكة الطرق والمواقف الإسفلتية من خلال معالجة المرئية كوحدة واحدة لذا فقد تم عزل شبكة الطرق ووضعها في ملف مستقل لا يخضع لأي من أساليب المعالجة أو عمليات التصنيف التي ستتم على المرئية وذلك من خلال استخدام وظيفة منطقة الاهتمام (AOI) Area of Interest في برنامج ERDAS IMAGINE ومن ثم صنف الملف الناتج بهدف استبعاد الخلايا التي لا تمثل شبكة الطرق في الحوض (شكل رقم ٥).

شكل رقم (٤) البصمة الطيفية لبعض غطاءات الأرض في الحوض الأعلى لوادي عرنة..



المصدر: الباحثة.

شكل رقم (٥) شبكة الطرق المستخلصة بواسطة اسلوب (AOI) في الحوض الأعلى لوادي عرنة.



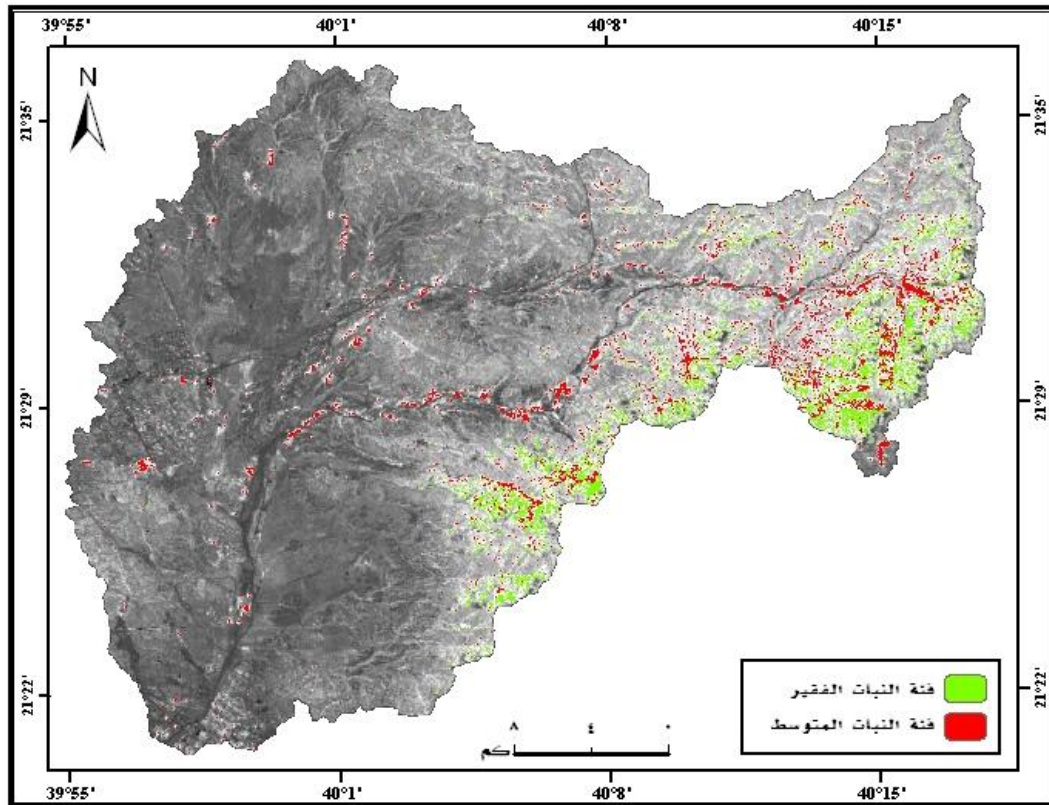
المصدر: الباحثة.

ثانياً: طُبِقَ على مرئية سبوت SPOT مؤشر Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) بهدف تمييز الغطاء النباتي عن غيره من غطاءات الأرض، ومؤشر (NDVI) هو أحد المؤشرات النباتية المستخدمة للكشف على وجود النبات من عدمه، و للاستدلال على حالة النبات من حيث حضرته وكثافته. والصيغة الرياضية لهذا المؤشر هي،
$$\left[\frac{\text{الأشعة تحت الحمراء القريبة} + \text{الأشعة الحمراء}}{\text{الأشعة تحت الحمراء القريبة} - \text{الأشعة الحمراء}} \right]$$
 ، (الغامدي، ١٩٩٦م). ثم أُجْرِيَ التصنيف غير الموجهة unsupervised classification للمرئية الناتجة بهدف عزل فئات النبات والتمييز فيما بينها حسب حالة الغطاء النباتي ومن ثم عزل فئات النبات في ملف مستقل (شكل رقم ٦).

ثالثاً: استخدمت الباحثة برنامج إرداس ERDAS لتصنيف مرئية سبوت SPOT إلى ٦٠ فئة طيفية Spectral classes، ثم قورنت هذه الفئات بالمرئية قبل التصنيف ونتائج الزيارات الحقلية لمعرفة ما تمثله من فئات معلوماتية Informational classes، ووجد أن الفئات الطيفية المثلة للإرسابات الناعمة والسفوح اللامعة تمثل فئة واحدة لذلك فقد تم عزلها باستخدام وظيفة Mask لعزل تلك الفئات من المرئية الأم أي المرئية قبل التصنيف. ومن ثم حُرِزَت فئات غطاءات الأرض المتداخلة إلى عدد من الفئات بواسطة التصنيف غير الموجهة. وبذلك تم تحديد أربعة غطاءات أرضية هي: الترب الجرداء، والرواسب الخشنة المفككة، والمرتفعات الجبلية، والمباني.

رابعاً: وهذه المرحلة هي مرحلة الدمج وإضافة الفئات التي لم تدخل ضمن التصنيف إلى المرئية المصنفة ثم إعادة ترميز غطاءات الأرض. حيث استخدمت وظيفة Overlay لدمج فئات الإرسابات الناعمة وأسقف المباني والسفوح اللامعة، وكذلك استخدمت هذه الوظيفة في دمج ملف شبكة الطرق، وأخيراً دمج ملف فئات الغطاء النباتي. ثم أعيد ترميز غطاءات الأرض باستخدام وظيفة Recode لينتج عن ذلك مرئية غطاءات الأرض في الحوض الأعلى لوادي عرنة، والتي ضمت سبعة غطاءات أرضية.

شكل رقم (٦) مرئية سبوت الناتجة عن مؤشر NDVI للحوض الأعلى لوادي عرنة..



المصدر: الباحثة.

ج: مرحلة بناء قواعد المعلومات الهيدرولوجية من خلال تطبيق النماذج الرياضية:

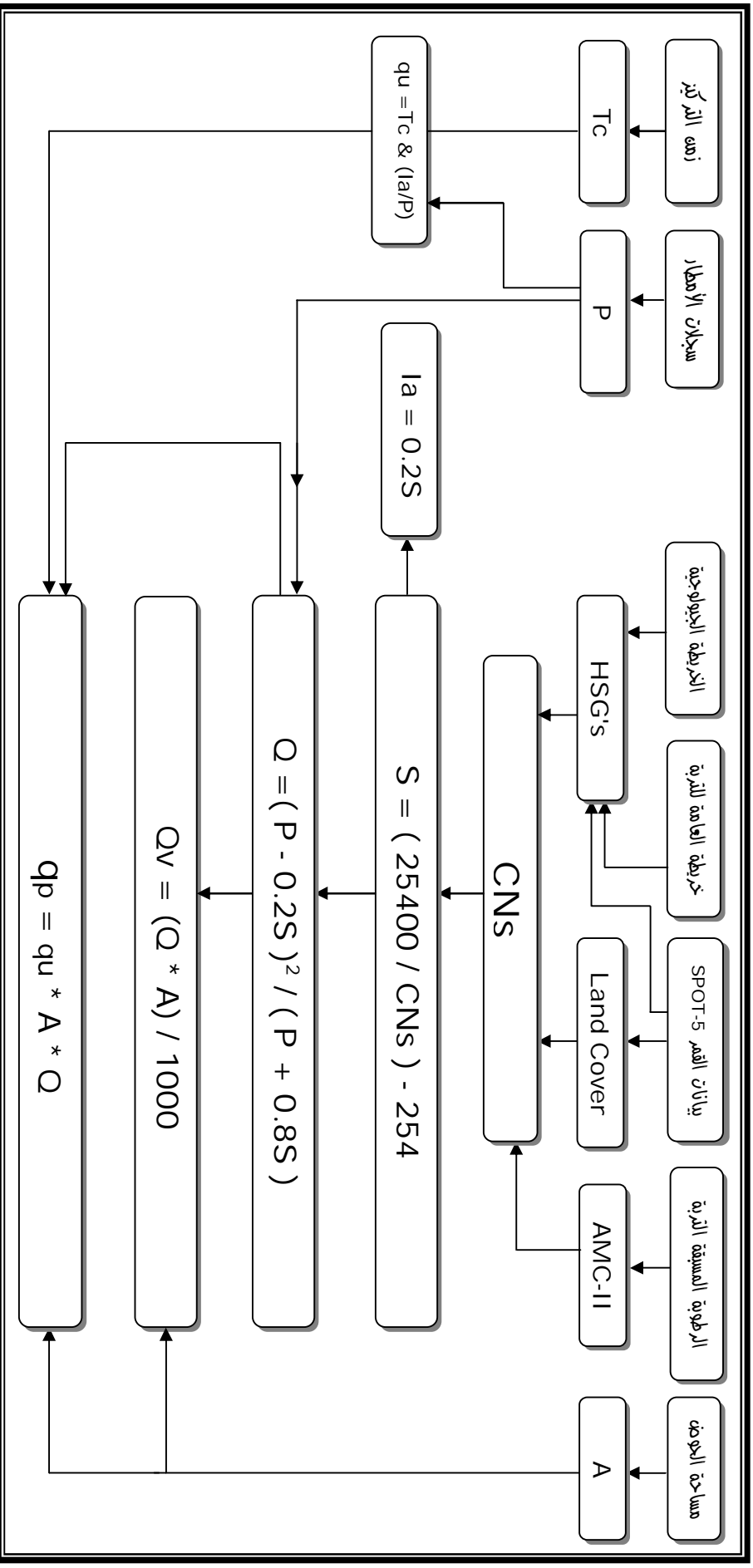
اختصت هذه المرحلة ببناء قواعد البيانات الهيدرولوجية في بيئة ArcGIS من خلال تطبيق النماذج الرياضية الهيدرولوجية الخاصة بتقدير الجريان السطحي، وحجم الجريان، وقمة ذروة التصريف (شكل رقم ٧) وذلك على النحو الآتي:

١- حساب الجريان السطحي وحجم الجريان:

تعتبر طريقة (SCS - CN) من أشهر الأساليب الرياضية المستخدمة في حساب الجريان السطحي وقد تسمى اختصاراً (RCN)، وطور هذا النموذج من قبل إدارة صيانة التربة Soil Conservation Service (SCS) التابع لإدارة الزراعة بالولايات المتحدة الأمريكية عام ١٩٧٠م، ووضعت صيغته المشهورة في عام ١٩٨٦م وقد حظي أسلوب (SCS - CN) بقبول واسع، في الولايات المتحدة الأمريكية بحيث لا تقبل أية دراسة هيدرولوجية للجريان ما لم تكن مطبقة له (AL-Ghamdi, 1991). كما شاع استخدام هذا النموذج خارج الولايات المتحدة الأمريكية حيث استخدم من قبل العديد من الباحثين في الدول النامية خاصة في دولة الهند (Al-Jabari, 2009; Ebrahimian, 2009; Ramakrishnan, 2009 ; Gupta, 2008) ، ومن الدراسات العربية (المومني، ١٩٩٧م؛ غانم، ٢٠٠٨م). وأسلوب (SCS - CN) عبارة عن سلسلة من المعادلات الرياضية يعتمد في مدخلاته على توفر معلومات عن غطاءات الأرض وأنماط استخدامها، وهيدرولوجية التربة، ونوع الغطاء النباتي، وكميات الأمطار الساقطة. ويتطلب حساب الجريان السطحي تحديد قيم CN، وقيمة CN تعتمد على ثلاثة عناصر هي الحالة المسبقة لرتوبة التربة، غطاءات الأرض، المجموعات الهيدرولوجية للتربة.

إن CN هي أرقام مقدرة تتراوح ما بين صفر إلى ١٠٠، وتعبّر عن الاستجابة المائية لمكونات غطاءات الأرض في أحواض التصريف. وتم التوصل إلى قيم CN من واقع آلاف القياسات التي تمت على أحواض التصريف في أنماط مختلفة من البيئات الطبيعية والحضرية في الولايات المتحدة الأمريكية (AL-Ghamdi, 1991). وتعبّر قيم CN عن مقدار اصمات السطح، فكلما اتجهت القيم ناحية ١٠٠ فإن الأسطح تكون أكثر صماتة (غير منفذة للماء)، وإذا اتجهت القيم نحو الصفر فإن الأسطح تكون أقل صماتة (USDA, 1986). وما يلي هو شرح لطريقة استخلاص قيم CN للحوض الأعلى لوادي عرنة، يلي ذلك شرح لطريقة إعداد الطبقات الخاصة بحساب الجريان السطحي وفق نموذج الأرقام المنحنية للجريان السطحي.

شكل رقم (٧) مخطط شامل لمراتل تقدير الجريان السطحي وحجم الجريان وذروة التعريف بواسطة اسلوب SCS-CN



المصدر: الباحثه

١-١ طريقة استخلاص قيم CN:

إن استخلاص قيم CN يعتمد في جزء من إجراءاته كما ذكر سابقاً على الحالة المسبقة لرتوبة التربة (Antecedent Soil Moisture Condition (AMS) ، وهناك ثلاث حالات للرتوبة المسبقة للتربة هي الحالة الأولى والثانية والثالثة (I, II, III) ، وتختص الحالة الأولى بالترب الجافة، والحالة الثانية هي الحالة الاعتيادية، أما الحالة الثالثة فتشترط سقوط أمطار خفيفة إلى غزيرة وتكون درجات الحرارة منخفضة وذلك خلال الأيام الخمسة السابقة لحساب الجريان السطحي بحيث تكون التربة مشبعة بالماء (McCuen, W.D, P 13). ولكل حالة من حالات الرطوبة المسبقة للتربة لها قيم CN خاصة بها (الملحق، أ). وفيما يختص بمنطقة الدراسة فقد حددت الحالة المسبقة لرتوبة التربة على أنها الحالة الاعتيادية (II).

وفيما يختص بغطاءات الأرض فقد وجد أن فني الطرق والمباني التي صنفت في برنامج ERDAS هي عبارة عن فئة واحدة من حيث الاصمات حسب تصنيف (SCS) لذلك تم دمجها ضمن فئة واحدة بواسطة المصنف Reclassify في المحلل المكاني في برنامج ArcGIS ومن ثم أعيد ترميز الفئات بحيث أصبحت ست فئات لغطاءات الأرض.

أما المجموعات الهيدرولوجية للتربة (HSG) Hydrologic Soil Groups فقد حددتها (SCS) بأربع مجموعات وفقاً لمعدل سرعة انتقال الماء من خلالها. وتدرج من A...D لكل منها صفاتها الخاصة، فالفتتان A و D تمثلان حدين متطرفين بالنسبة لنشوء الجريان السطحي، فيما تمثل الفتتان B و C حالتين متوسطتين بالنسبة لنشوء الجريان السطحي. ومجموعات التربة تلك كما أوردتها (USDA-SCS, 1985; USDA TR55, 1986, P A-1) وهي على النحو الآتي:

فئة التربة A: ينشأ عنها جريان سطحي منخفض، وتكون معدلات تسرب الماء داخل التربة عالية حتى عندما تكون التربة رطبة تماماً. وهي تتألف في الغالب من تربة عميقة جافة، ومعدل انتقال الماء من خلالها يتراوح بين ١ - ٣،٨ بوصة في الساعة. ومن أنواع التربة في هذه الفئة التربة الرملية sand، وتربة لومية رملية loamy sand، وتربة رملية لومية sandy loam.

فئة التربة B: معدلات التسرب في هذه التربة متوسطة عندما تكون رطبة تماماً. وتتألف بشكل رئيس من تربة عميقة إلى متوسطة العمق، وذات قوام ناعم إلى خشن. ومعدل انتقال الماء من خلالها يتراوح بين ٠,٥ - ١ بوصة في الساعة. ومن أنواع الترب في هذه الفئة تربة السلت loam، وتربة اللوم Silty loam.

فئة التربة C: معدل تسرب الماء فيها منخفض عندما تكون رطبة تماماً. وتتألف بشكل رئيس من تربة ذات طبقة تعيق حركة الماء إلى الأسفل. وهي ذات قوام ناعم إلى متوسط النعومة. ومعدل انتقال الماء من خلالها منخفض، ما بين ٠,١٧ - ٠,٢٧ بوصة في الساعة. ومن أنواع الترب في هذه الفئة التربة الرملية الصلصالية لومية sandy clay loam.

فئة التربة D: ينتج عنها جريان سطحي عالي وبذلك فإن معدلات التسرب فيها منخفضة جداً عندما تكون التربة رطبة. وتحتوي بصورة رئيسة على ترب صلصالية، وترب يرتفع فيها منسوب الماء الجوفي بشكل دائم، وترب ضحلة فوق طبقة غير منفذة أو كثيمة. وانتقال الماء عبر هذه الترب منخفض جداً بين ٠,٠٢ - ٠,١٠ بوصة في الساعة. ويندرج ضمن هذه الفئة الترب المتكونة من الصلصال واللوم clay loam، وتربة سلتية صلصالية لومة silty clay loam، وتربة رملية صلصالية sandy clay، وتربة سلتية صلصالية silty clay، وتربة صلصالية clay.

وفيما يختص بتحديد المجموعات الهيدرولوجية للتربة في منطقة الدراسة فقد استخدم أسلوب التقييم على الشاشة بالاعتماد على الخريطة الجيولوجية لاحتوائها على معلومات تفصيلية عن التربة، كذلك استعين بممرئية سبوت والخريطة العامة للتربة للتعرف على أنواع التربة في منطقة الدراسة. وتبين أن جميع الفئات الأربعة لهيدرولوجية للتربة تمثلت في منطقة الدراسة. وبذلك تم إعداد طبقة المجموعات الهيدرولوجية للتربة.

وكان الإجراء الأخير هو دمج طبقتي غطاءات الأرض وطبقة المجموعات الهيدرولوجية للتربة بعد أن تم ترميز Code كل طبقة بقيم تختلف عن القيم الموجودة في الطبقة الأخرى حتى لا يدمج البرنامج الفئات التي ستصبح لها نفس القيمة. حيث أعطيت غطاءات الأرض الأرقام من ١ إلى ٦، فيما أعطيت فئات التربة القيم (١٣،١١،١٠،٧) ثم دجت الطبقتين باستخدام

وظيفة Combine في برنامج ArcGIS وبالتالي بلغ عدد القيم الناتجة ٢٤ قيمة تمثل مواقع تقاطع غطاءات الأرض مع المجموعات الهيدرولوجية للتربة في منطقة الدراسة. بعد ذلك تمت مراجعة القيم الناتجة لمعرفة ما تمثله كل قيمة من غطاءات الأرض ومن المجموعات الهيدرولوجية للتربة لاستخلاص القيمة المقابلة لها من جداول CN (ملحق، ب) وخلص هذا الإجراء إلى أن منطقة الدراسة تمثل فيها ١٣ قيمة من قيم CN تراوحت بين ٥٥ و ٩٨. تلا ذلك إعادة ترميز الطبقة المدججة بإدخال قيم CN من خلال وظيفة إعادة التصنيف Reclassify وهو أحد وظائف Spatial Analyst في برنامج ArcGIS.

١-٢ إعداد طبقات نموذج أرقام منحني الجريان وحساب الجريان السطحي:

إن الصيغة الرياضية لنموذج أرقام منحني الجريان حسب ما وردت في (USDA, 1986,

P 2-1) هي على النحو الآتي:

$$\text{معادلة (١)} \quad Q = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia) + S}$$

حيث:

Q: عمق الجريان السطحي (بوصة).

P: الأمطار الساقطة (بوصة).

Ia: المستخلصات الأولية قبل بدء الجريان السطحي كالتسرب والاستقبال من قبل النبات والتبخر (بوصة).

S: التجمع السطحي الأقصى بعد بداية الجريان السطحي (بوصة).

ووجد أن Ia تعادل خمس قيمة S وتحسب Ia كالتالي:

$$\text{معادلة (٢)} \quad Ia = 0.2S$$

ويتم حساب S بالصيغة الرياضية التالية:

$$\text{معادلة (٣)} \quad S = \frac{1000}{CN} - 10$$

ويجبر قيمة S حورت الصيغة الرياضية لمعادلة الجريان السطحي كالتالي:

$$\text{معادلة (٤)} \quad Q = \frac{(P - Ia)^2}{(P + 0.8S)}$$

ويلاحظ أن مدخلات النموذج هي بالبوصة لذلك تمت إعادة صياغة المعادلة لتتوافق مع المقاييس المترية حيث ضربت الأرقام الثابتة في المعادلة رقم (٣) في ٢٥,٤ لتحويلها من بوصة إلى مليمتر، فأصبحت صيغة المعادلة على النحو الآتي:

$$\text{معادلة (٥)} \quad S = \frac{25400}{CN} - 254$$

(غانم، ٢٠٠٨)

ولإعداد الطبقات Ia و S و Q فقد تم استخدام الحاسبة الخلية Raster Calculator ضمن وظائف المحلل المكاني Spatial Analyst بإدخال الصيغ الواردة في المعادلات (٢، ٤، ٥).

٣-١ حساب حجم الجريان السطحي:

استخدمت المعادلة التالية في حساب حجم الجريان السطحي:

معادلة (٦)

$$Qv=(Q*A/1000)$$

(USDA, 1986, P 6-3)

حيث :

Qv : هي حجم الجريان السطحي.

Q : عمق الجريان السطحي.

A : مساحة حوض التصريف.

1000: معامل التحويل.

وحيث أن حساب حجم الجريان سيتم على مستوى الخلية، لذلك تم التعبير عن قيمة A بمساحة الخلية وهي ١٠٠م^٢ بدلاً من مساحة الحوض. لينتج عن ذلك حساب حجم الجريان السطحي لكل خلية في الحوض، وللأحواض الجزئية، وللحوض ككل.

٢- حساب قمة ذروة التصريف:

ولحساب قمة ذروة التصريف للحوض الأعلى لوادي عرنة تم تطبيق نموذج مخطط ذروة التصريف Graphical Peak Discharge Method ، وهو نموذج رياضي يعتمد على عمق الجريان السطحي في حساب قمة ذروة التصريف، وبناء النموذج كالتالي:

معادلة (٧)

$$q_p = q_u A_m Q F_p$$

(USDA, 1986, P 4-1)

حيث:

q_p : قمة التصريف بالقدم المكعب في الثانية.

q_u : وحدة ذروة التصريف ميل مربع لكل بوصة.

A_m : مساحة حوض التصريف بالميل المربع.

Q : الجريان السطحي بالبوصة.

F_p : عامل تسوية البرك والمستنقعات.

وحيث أن منطقة الدراسة لا يوجد بها برك أو مستنقعات فقد تم استبعاد المعامل Fp . لذلك أصبح حساب المعامل qu هو الأهم ويتطلب حساب زمن التركيز و نسبة Ia/p ، وتحديد شدة العاصفة المطرية وذلك ضمن أربعة حالات هي: (I, IA, II, III) ليتم بعد ذلك استخلاص قيم qu من مخططات CHARTS خاصة بها. وبناءً على القيم المطرية المحسوبة لمنطقة الدراسة وجد أنها تقع ضمن الحالة الثالثة (II). وقد استخدمت حاسبة على الانترنت للحصول على نواتج قمة التصريف حسب المقياس المتري كما سيرد ذكره في الفصل الرابع.

ولحساب زمن التركيز في الحوض والأحواض الجزئية تم استخدام المعادلة التالية:

$$t_c = 0.057 \frac{L^{0.8} \left[\frac{1000}{CN} - 9 \right]^{0.7}}{\sqrt{J}} \quad \text{معادلة (٨)}$$

(George, 2009, P19)

حيث:

T_c : زمن التركيز بالساعات.

L : طول الحوض كم.

J : معدل انحدار الحوض (%).

وقد استخدم معامل التحويل ٢٥,٤ لتحويل ما بين القوسين من بوصة إلى ملم.

CN : الأرقام المنحنية.

وبتطبيق المعادلة أعلاه تم حساب زمن التركيز للحوض ككل وللأحواض الجزئية. ومن أجل استخلاص قيم qu ينظر لقيمة زمن التركيز المقابلة لقيمة نسبة Ia/P ومن ثم تقرأ قيمة qu مباشرة من المخطط الخاص بالحالة المطرية الثالثة. وبحساب ذروة التصريف للأحواض الجزئية وللحوض ككل يتم بذلك الانتهاء من تطبيق النماذج الرياضية التي تمت بواسطة نظم المعلومات الجغرافية.

الفصل الثاني

الملامح الطبيعية للحوض الأعلى لوادي عرنة

- تمهيد
- جيولوجية الحوض
- السمات العامة للتضاريس
- التربة
- الغطاء النباتي
- المناخ

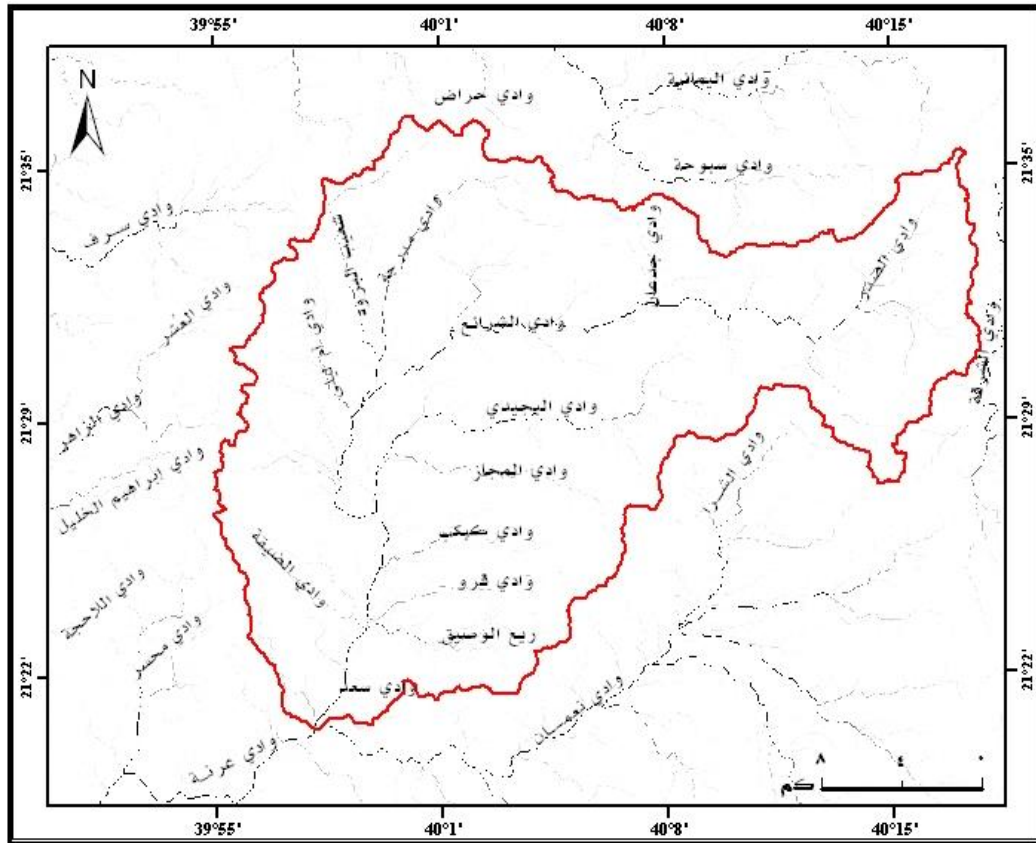
تمهيد:

يعد حوض وادي عرنة من أودية تهامة الحجاز الكبرى التي تصب في البحر الأحمر، وتنصرف إليه مياه وادي نَعمان من الشرق وبعض مياه أودية الحرم من الغرب. وتقدر مساحة تجميعه بنحو ٢٧٨٩ كم^٢. ويطلق عليه البعض وادي نَعمان، غير أن المراجع التاريخية (الأزرقى، ٢٠٠٢م؛ البلادي، ١٤٠٣هـ)، والخرائط الطبوغرافية لمربع مكة أجمعت على مسمى عرنة. وهذه الدراسة اقتصرت على الحوض الأعلى من الوادي ابتداءً من منابعه العليا عند حافة الجرف الانكساري الواقعة إلى الشرق من منطقة قرى الصدر بالقرب من مرتفعات الشفا وحتى قبيل التقائه بوادي نَعمان بجوالي ٨٣٢ م، فيما مساحته ٦٢٤ كم^٢ أي ما يعادل ٢٢٪ من كامل مساحة تصريف حوض وادي عرنة.

ويجاذي الحوض الأعلى لوادي عرنة سلسلة من المرتفعات الجبلية تفصله من ناحية الغرب عن مدينة مكة المكرمة، ومن أهم تلك الجبال: جبل أسلع، والطارقي، والأحذب، وخشرب، والشعراء، حيث تبعد حافته الغربية عن الحرم المكي الشريف نحو ١٢ كم. ويمتد حوض الوادي بين دائرتي عرض ٣٦° ٢٠' - ٢١° ٢١' و ٢٢° ٣٦' - ٢١° ٢١' شمالاً، وبين خطي طول ٥٦° ٥٤' - ٣٩° ٥' و ٤٠° ١٧' شرقاً، متخذاً اتجاههاً عاماً من الشرق نحو الجنوب (شكل رقم ٨). ويبلغ أقصى طول له من الشرق إلى الغرب ٣٧,٢ كم، وأقصى اتساع من الشمال إلى الجنوب ٢٨,٨ كم. ويفصل الحوض الأعلى لوادي عرنة خط تقسيم مياه مشترك مع الأحواض المجاورة له، فيألى الشرق منه يقع حوض وادي الشرقة، ومن الجنوب الشرقي وادي الشرا، ومن الجنوب وادي نَعمان. ومن الشمال وادي سبوحه ووادي حراض، ومن ناحية الشمال الغربي وادي سرف، ومن ناحية الغرب وادي العُشر، ووادي الزاهر، ووادي إبراهيم الخليل، ومن الجنوب الغربي وادي محسر. (شكل رقم ٩).

ويتألف الحوض الأعلى لوادي عرنة من التقاء رافدين كبيرين هما، وادي الشرائع ووادي البجيدي. وتبدأ المنابع العليا لوادي الشرائع تبدأ منابعه العليا من حافة الجرف الانكساري في أقصى شرق الحوض ويعرف مجراه الأعلى بوادي الصدر نسبة لقرى الصدر، ويتجه الوادي من الشمال الشرقي إلى الغرب فإذا ما وازى جبل الأسنة شمالاً حيث عين الشرائع أطلق عليه وادي

شكل رقم (٩) روافد الحوض الأعلى لوادي عرنة والأحواض المجاورة له.



المصدر: الباحثة.

الشرائع، ثم ينحرف مجرى الوادي ناحية الجنوب، ثم ينحرف المجرى قليلاً ناحية الشرق على هيئة محدبة ليتصل بوادي البجيدي. وتتبع الروافد العليا لوادي الشرائع من السفوح الجنوبية لجبل كنتيل والسفوح الجنوبية والغربية لجبل ضحية والأشعر وسفوح مسعود الشرقية والجنوبية، وسفوح جبل الأسنة الجنوبية، والسفوح الشمالية لجبل لبن الأعلى وسفوح لبن الأسفل الشمالية والغربية. أما وادي البجيدي الواقع إلى الجنوب من وادي الشرائع فيوازي مجراه وادي الشرائع متجهاً من الشرق إلى الغرب، وتتبع روافده العليا من السفوح الشمالية والغربية لجبل تقبال، والسفوح الجنوبية لجبل لبن الأعلى، والسفوح الشرقية والجنوبية لجبل لبن الأسفل ثم ينثني المجرى على هيئة مقعرة عند جبل غريان متجهاً نحو الجنوب، ليقترن بوادي الشرائع في منطقة بين جبلي قرظة شرقاً وأسلع غرباً وعندها يُطلق على الوادي مسمى عرنة. ثم يكمل الوادي مساره ناحية الجنوب مخترباً سهل المغمس فمشعر عرفات حيث مخرج الوادي.

وقد سكن عرنة قديماً قبائل من قريش والأشراف وبطون من هذيل، ويحوي الشعر العربي ذكر العديد من أسماء الديار والجبال والوديان، والأماكن التي شهدت أحداث تاريخية هامة، كالمغمس حيث حبس فيل أبرهة الحبشي، وسوق هذيل ذي الحجاز ويقع بأعلى وادي الحجاز وكان يقام في الأيام الثمانية السابقة ليوم عرنة. كما ورد ذكر عين حنين حيث موقعة حنين بين الرسول صلى الله عليه وسلم وأهل الطائف، وحنين هو الاسم القديم لعين الشرائع وعرف الوادي قديماً باسمها. كذلك ورد ذكر ثنية خل الواقعة قريباً من جبل الستار عند حدود الحرم وهذه الثنية أحدثتها زبيدة زوج هارون الرشيد لما أرادت أن تجري عين حنين إلى مكة (البلاد، ١٤٠٣هـ).

ويعتبر الحوض الأعلى لوادي عرنة منطقة انتقال بين الريف والمدينة، حيث تتوزع في نواحي الحوض بعض القرى الصغيرة المتناثرة على ضفاف الأودية كقرى الصدر (مفروق، والرفة، والصدر)، وقرى البجيدي (الشدة، والبجيدي)، ومراكز الجعرانة والشرائع العليا. ومن أبرز المظاهر الحضرية من حيث المساحة وكثافة السكان شرائع المجاهدين ومخططات الشرائع، إضافة إلى المخططات التي لم يعمر فيها كمخطط الجفري، ومخططات الراشدية في المغمس، وتمثل هذه التجمعات العمرانية نهاية الذراع العمراني الشمالي الشرقي لمدينة مكة المكرمة

ويسكنها نحو ٩٧,٦٧٥ نسمة (تعداد السكان، ١٤٢٥هـ). وقد شهدت منطقة الشرائع خلال السنوات الأخيرة نمواً عمرانياً مطرداً فحتى عام ٢٠٠٠م كان عدد المخططات سبعة مخططات (الغامدي، ٢٠٠٢م) وخلال عشرة سنوات أصبح عددها ١٥ مخططاً، وتقدر مساحة المناطق العمرانية المستغلة والمخصصة للسكن حوالي ٦٢٤ كم^٢ حتى عام ٢٠٠٥م من إجمالي مساحة حوض الوادي.

جيولوجية الدرع العربي:

تتألف المملكة العربية السعودية من وحدتين جيولوجيتين رئيسيتين هما، الدرع العربي Arabian Shield والرف العربي Arabian Shelf . ويشغل الدرع العربي ثلث مساحة المملكة، ويتكون من صخور نارية وأخرى متحولة تتبع للزمن ما قبل الكامبري. أما الرف العربي الواقع إلى الشرق من سابقه فيشغل ثلثي مساحة المملكة، وصخوره رسوبية تغطي صخور القاعدة الآركية (الوليحي، ١٩٩٦م).

ومن الناحية الجيولوجية يقع حوض وادي عرنة في منطقة الدرع العربي، وهي منطقة تحتل غرب ووسط المملكة العربية السعودية على هيئة شبه مثلث قاعدته على البحر الأحمر ورأسه يمتد إلى وسط هضبة نجد. يضيق اتساعه في الشمال والجنوب، ففي الشمال يتراوح ما بين ٥٠-١٠٠ كم وفي الجنوب حوالي ٢٠٠ كم، وفي الوسط يتسع لمسافة ٧٠٠ كم تقريباً، وتبلغ مساحة الدرع العربي ٧٧٠,٠٠٠ كم^٢ (السقا، ١٩٩٩م) وتتراوح أعمار صخوره ما بين ١٠٠٠-٤٥٠ مليون سنة (الشنطي، ٢٠٠٣م) ويتكون الدرع العربي في معظمه من صخور نارية كالجرانيت والجابرو، وصخور متحولة كانايس والكوارتزيت، وكذلك توجد صخور العصر الرباعي الرسوبية.

نشأة الدرع العربي:

تعددت النظريات المفسرة لنشأت الدرع العربي، ولعل من أكثرها شيوعاً نظرية التحام اللوحات الصغيرة (الشنطي، ٢٠٠٣م) لأنها أعطت تفسيراً لتكون إقليمي عفيف والرين القارين (الوليحي، ١٩٩٦م) وحسب هذه النظرية فإن بداية تشكل الدرع العربي ارتبطت

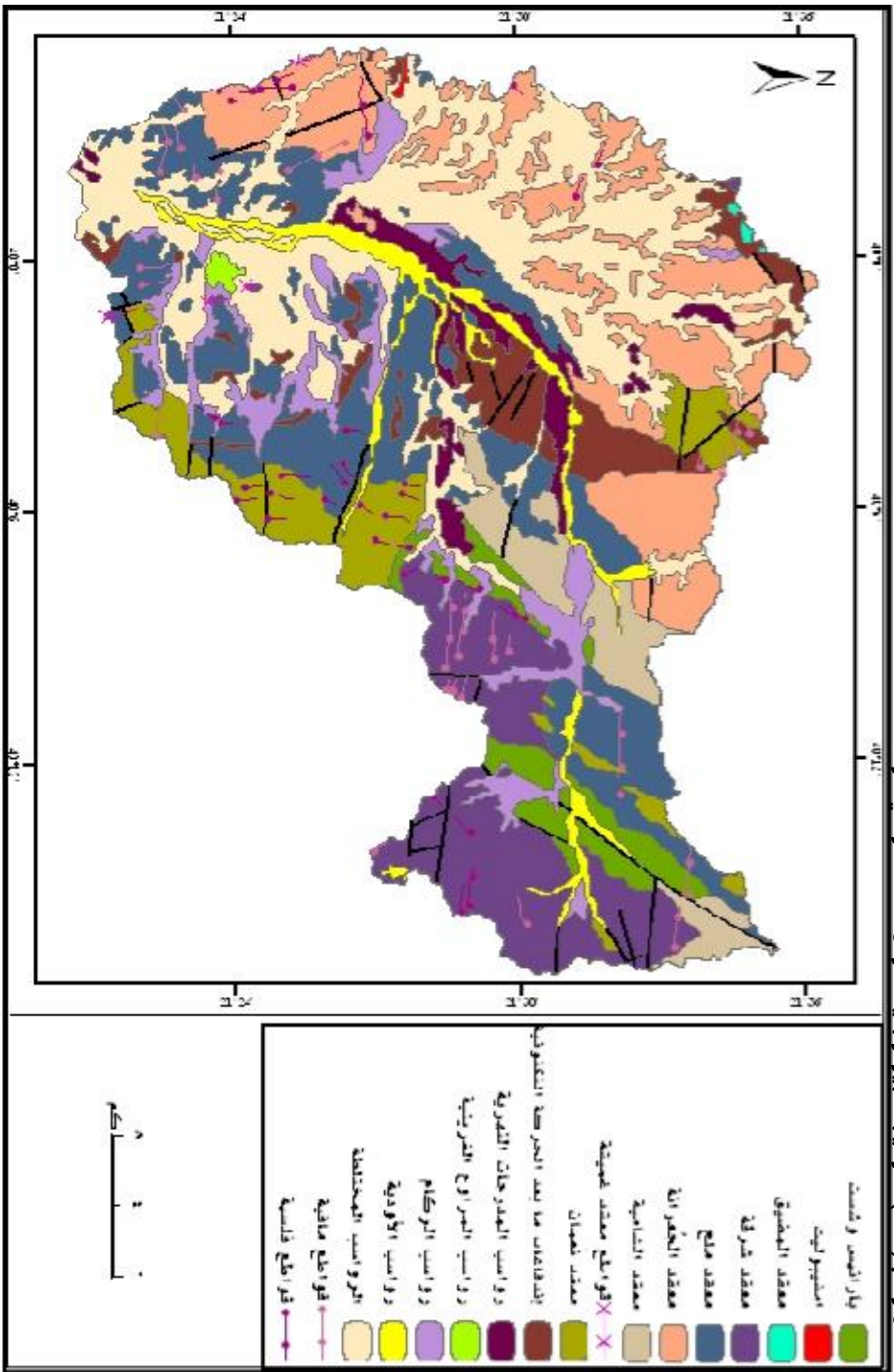
بحدوث انشطار في شرق الراسخ الأفريقي الذي نتج عنه انفصال لوحتي عفيف والرین. ثم تشكلت أقواس جزر على القشرة المحيطية بين الراسخ الأفريقي والألواح المنفصلة عنه والتحمت تلك الأقواس مع بعضها بأحزمة أفوليتية وبذلك تكونت قشرة قارية جديدة. وخلال الفترة من ٦٤٠-٧١٥ مليون سنة اصطدمت القشرة القارية الجديدة مع الألواح القارية المنفصلة عن الراسخ الأفريقي والتحمت مع بعضها بواسطة أحزمة الأفوليت واستمر هذا الالتحام لمدة تزيد عن ٦٠٠ مليون سنة.

وفي بداية الزمن الثالث حدث تقبب في المنطقة بين الدرع العربي والراسخ الأفريقي تلا ذلك حدوث انكسار سلبي على طول قمم التقبب من الشمال الشرقي إلى الجنوب الغربي وانخساف منطقة البحر الأحمر وتدفقت اللابا مكونة هضاب البازلت. ثم سادت فترة هدوء خلال عصر المايوسين تلاها تجدد النشاط التكتوني في هذه المنطقة خلال البلايوسين، وحدث انكسار البحر الأحمر وتوسع قاعه وابتعاد شبه الجزيرة العربية عن إفريقيا وتحركها باتجاه الشمال الشرقي، تلا ذلك حدوث حركة رفع للأراضي على جانبي البحر الأحمر وتشكل المرتفعات الغربية لشبه الجزيرة العربية (الوليبي، ١٩٩٦م؛ الشنطي، ٢٠٠٣م) وتقدر الفترة التي نشأت فيها جبال السروات بحوالي ٥٠٠ مليون سنة (السقا، ١٩٩٩م) وبذلك انفصلت الصفيحة العربية المشتملة على الدرع العربي عن الصفيحة الأفريقية.

أولاً: التكوين الجيولوجي:

يقع حوض وادي عرنة في النصف الغربي من الدرع العربي، وتتباين مكوناته الجيولوجية بين تكوينات صخرية صلبة في الشرق ورواسب رباعية في الغرب، وعلى ضوء الخريطة الجيولوجية لمربع مكة وبلاستعانة بالدليل المصاحب له الذي أعده موررو والرحيلي (Moore & AL-Rehaili, 1989) فإن الوضع الجيولوجي لحوض الوادي والمبين في الشكل رقم (١٠) كالتالي:

أولاً: طبقات صخور ما قبل الكامبري Precambrian Layer Rocks:



تظهر في حوض وادي عرنة وحدات صخرية غير محدد طباقياً Unassigned Units of Paragneiss Uncertain Stratigraphic Affinity تمثل في وحدة صخور البارانيس والشست and Schist، ووحدة صخور الأمفيبوليت Amphibolite. كذلك تشتمل على متكون المضيق التابع لمجموعة زُبارة الصخرية. وتعد وحدة صخور البارانيس والشست أقدم التكوينات الصخرية لما قبل الكامبري، وهي عبارة عن منكشفات صخرية تظهر في شمال وشرق حوض وادي عرنة وفي أقصى شماله الشرقي. وتتكون من تعاقب صخري غير واضح لصخور الكوارتز شست، والكوارتز أولفلديز، وتظهر بعض تكوينات الأمفيبوليت في شمال شرق البجدي. ويظهر الجرانيت فيوروس، والكوارتزفلسبار، والشستوزي والحجر الرملي في وادي الشرائع ووادي الصدر. وتعد تلك التكوينات الصخرية الأقدم في مربع مكة الطائف لعدم وضوحها طباقياً مقارنة بالصخور الطباقية الأخرى بالرغم من تشابهها الصخري مع متكون عباسية والجموم.

أما وحدة الأمفيبوليت فهي أقل أهمية من سابقتها، وتشغل مساحة صغيرة جداً من حوض الوادي. وتتكون من صخور السيلكا والبيوتيت كوارتز وفلدسبار والشست، وتظهر في أقصى غرب الوادي في جزء صغير من منطقة الشرائع.

وبالنسبة لمتكون المضيق Madiq formation فهو أقدم التكوينات الصخرية لمجموعة زُبارة، سطحه مقطع بصخور معقدي الشامية والجعرانة. ويظهر في أجزاء ضيقة جداً في حوض وادي عرنة مع امتداد خط تقسيم المياه في شمال غرب حوض الوادي على هيئة كتل جبلية جنوب جبل أظلم ويتألف من ميتامورفوسيد لافية، وصخور فتاتية بركانية تتكون من البازلت ذي اللون الداكن والمقاومة للتعرية.

اندفاعات صخور ما قبل الكامبري Precambrian intrusive rock:

تتكون الاندفاعات الصخرية لما قبل الكامبري في معظمها من الديوريت والديوريت الكوارتزي والتوناليت والجابرو ويزيد عمرها عن ٧٠٠ مليون سنة. وبشكل عام تنقسم إلى قسمين هما، سلسلة صخور الديوريت الأولى ويقدر عمرها بنحو ٩٠٠ مليون سنة وهي قريبة إلى أن تكون كلسية. والقسم الآخر تمثله سلسلة صخور الديوريت الثانية ويتراوح عمرها ما بين ٧٨٥-٨٠٠ مليون سنة وهي ما بين كلسية وكلس قلووية. وقد تأثرت تلك الاندفاعات بعوامل

الطي والصدع فظهرت عليها آثار التهشم والتورق كما تحولت صخورها إلى سحنة الشست الأخضر (الشنطي، ٢٠٠٣ م) وفي حوض وادي عرنة قسمت الاندفاعات الصخرية لما قبل الكامبري حسب الأقدم عمراً كالتالي:

الاندفاعات الصخرية لما قبل لمجموعة الكامل Pre-Kamil suite وقد تمثل منها في حوض وادي عرنة ما يلي:

معقد شرقية Sharqah Complex:

ويعد من أقدم الصخور الاندفاعية لما قبل مجموعة الكامل الصخرية. ويمتد معقد شرقية إلى حوالي ١٧ كم شرق البجدي عبر وادي الشرا، وقاعدته على الجرف الانكساري، ويتألف بشكل رئيس من تعاقب مبكر للطبقات، وصخور مافية متوسطة الحبيبات وبعض التداخلات من الصخور فوق المافية التي تسود فيها معادن الأوليفين والبيروكسين، وصخور الديوريت والكوارتز ديوريت. كما أن سطحه مقطوع بواسطة قواطع مافية وفلسية مختلفة الاتجاهات. ويظهر معقد شرقية في أقصى شرق الوادي في جبل تقبال والمرتفعات الجبلية الواقعة إلى الشرق منه حتى منطقة الجرف.

معقد ملح Milh Complex:

وهو من الاندفاعات الصخرية السابقة لمجموعة الكامل. ويتألف معقد ملح من ثلاث وحدات صخرية، يوجد منها في حوض وادي عرنة وحدة صخور الديوريت والجابرو، وهي تشتمل بشكل رئيس على الديوريت الذي يتداخل في حدوده مع وحدة الديوريت إلى الكوارتز، والديوريت. وقوام هذه الوحدة ناعم إلى متوسط الحبيبات. ويتكون من هيبيدومورفي مع الانديسيت وهورنبلند أزرق إلى أخضر اللون بالإضافة إلى البيوتيت بني اللون.

ويشغل معقد ملح منطقة واسعة من حوض الوادي خاصة في أقصى الشمال الشرقي بمنطقة جبل كئيل حيث تقطع صخوره منكشفات صخرية تابعة لمعقد نَعمان، كما يمتد أيضاً باتجاه شمال شرقي إلى جنوبه الغربي جنوب جبل مسعود وجبل الأسنة ووادي لبن وسهل عرفات حيث تتدخل معه اندفاعات ما بعد الحركة التكتونية وإرسابات الرباعي.

الاندفاعات الصخرية لمجموعة الكامل Kamil suite ويتمثل منها في حوض وادي عرنة:
معقد الجُرانة Ju'ranah Complex:

يتبع اندفاعات مجموعة الكامل الصخرية. ويغطي المناطق الجبلية كجبل مسعود، والطارقي، والأحدب، وحشرب، والشعراء، كما يشغل معظم حوض وادي الشرائع ووادي مدرجة وشعيب البرود. ويتضمن صخور التوناليت وبعض الجرانوديوريت. وتعرضت صخوره للتشوه إما بفعل عمليات التصدع الشائعة في منطقة الدرع العربي أو لعمليات تحلل الصخور. وتتميز صخوره بأنها خشنة إلى متوسطة التحبب وتحتوي على معادن مثل الهورنبلند والبلاجيو كليز، وكميات قليلة من البوتاسيوم والفلسبار والكلوريت وأكاسيد الحديد.

معقد الشامية Shamiyah Complex:

يتألف معقد الشامية من ثلاثة مجموعات صخرية تظهر منها في حوض الوادي صخور التروندجيمنت فاتحة اللون ويتكون من معادن البلاجيوكليز والكوارتز وقليل من البيوتيت (حسين، ١٩٩٩م) يمتد على هيئة شبه قوس من الشمال الشرقي من جبل الأشعر باتجاه الجنوب الغربي عند جبل لبن تتخلله إرسابات الرباعي، وفي الركن الشمالي الشرقي من حوض الوادي.

الاندفاعات التكتونية المتأخرة Late-tectonic intrusive rocks:

تتكون الاندفاعات التكتونية المتأخرة من الجرانوديوريت والجرانيت والجرانيت القلوي والجابرو، ويتراوح عمرها ما بين أقل من ٧٠٠ مليون سنة إلى ٦٢٠ مليون سنة (الشنطي، ٢٠٠٣م) يمثلها في حوض وادي عرنة معقد نَعمان Nu'man Comple.

يحتوي معقد نَعمان على وحدتين من الصخور يوجد منها في حوض وادي عرنة وحدة صخور المتزوجرانيت الكتلية والبيوتيت، ونايس محلي في المرتفعات الجبلية الشمالية الواقعة إلى الشمال من جبل الأسنة وفي جبل كبكب، كما تظهر على هيئة منكشفات صخرية في منطقة وادي الصدر. ويتكون معقد نَعمان من صخور المتزوجرانيت والبيوتيت والجرانوديوريت والتي تتصف بأنها خشنة التحبب ذات لون وردي فاتح تحتوي على بلورات من الفلسبار البوتاسي كبيرة الحجم.

الاندفاعات الصخرية لما بعد الحركة التكتونية Post-tectonic intrusive rocks:

يقدر عمر هذه الاندفاعات ما بين ٥٥٠-٦٢٠ مليون سنة (الشنطي، ٢٠٠٣ م). وتتكون في الغالب من صخور جوفية غير متحولة وغير مشوهة ويتبعها أجسام من الجرانيت القلوي فاتح أو وردي اللون والسيانيت القلوي، والجرانيت فوق القلوي. تمثل منها في حوض وادي عرنة الجوفيات غير المميزة Unassigned plutons وهي عبارة عن محقونات نارية متعددة، وغير محددة لعدم وجود معلومات كافية عنها، إلا أنه يمكن تصنيفها حسب نوع الصخور إلى ثمانية أنواع هي، الجرانيت، والفلسبار القلوي، والسينيغوجرانيت، والمتزوجرانيت، والميكاجرانيت، والقليل من الجرانوديوريت، والجابرو. ويتخلل هذه الأنواع الصخرية بعض الأجسام من الجابرو الذي قد تكون خلال العصر الثلاثي والمرتبط بتشكيل الحرات.

وتظهر في حوض وادي عرنة بشكل رئيسي صخور المونزوجرانيت في شمال الحوض، وعلى هيئة شريط يمتد من شمال الحوض حيث يمثل أعلاه في جبلي الأسنة ولبن، وتقطعه إرسابات الزمن الرابع في مجرى وادي الشرائع، كما يظهر على هيئة كتل متقطعة في منطقة سهل عرفات. وعلى مساحات صغيرة في أقصى شمال الحوض تظهر صخور الجرانيت، وكذلك الحال بالنسبة للبيجماتيت في جنوب شرق الحوض، والجابرو في جنوب حوض الوادي.

قواطع ما قبل الكامبري Precambrian dikes:

تصنف قواطع ما قبل الكامبري إلى قواطع فلسية وأخرى مافية متباينة في اتجاهاتها وأطوالها تنتشر على أطراف حوض وادي عرنة ولا تظهر في وسطه لسيادة إرسابات الزمن الرابع.

وتظهر القواطع الفلسية في شرق وأقصى شرق حوض وادي عرنة في معقد شرقية وجوفيات ما قبل الكامبري في وادي البجيدي، وفي سهل عرفات والضلع الأسود حيث تقطع معقد ملح. وفي معقد نَعمان في جبل كبكب، ومعقد الجُعرانة في جبل الأحذب والطارقي. أما القواطع المافية فهي أكثر انتشاراً وطولاً من القواطع الفلسية، وتظهر في جوفيات ما قبل الكامبري في أقصى شمال شرق حوض الوادي في مجرى وادي الصدر، وفي معقد شرقية في جبلي كئيل وتقبال، وفي معقد ملح في جبل سعد ومنطقة الخاسرة وجبل الشعراء، كما تظهر في معقد الجُعرانة في جبال الطارقي والأحذب وحشرب، وفي معقد نَعمان شمال حوض الوادي.

ثانياً: اندفاعات صخور الثلاثي Tertiary intrusive rocks:

لم تظهر في حوض وادي عرنة طبقات صخرية تعود للزمن الجيولوجي الثالث، إلا أن اندفاعات صخرية تعود لمعقد غُميقة Ghumayqah Complex ظهرت في أجزاء صغيرة من الحوض، وتتكون من سدود الجابرو السميكة. وتظهر هذه الاندفاعات في منطقة سهل عرفات وفي جبل سعد في أدنى الحوض. وفي العموم يتألف معقد غُميقة من صخور بازلتية ناعمة إلى متوسطة التحبب و صخور مافية غير متحولة.

ثالثاً: إرسابات الزمن الرابع Quaternary Deposits:

كست إرسابات الزمن الرابع أجزاء واسعة من حوض وادي عرنة وتركزت في الأجزاء الوسطى والغربية من حوض الوادي وفي مجاري الأودية. وتلك الإرسابات مميزة كالتالي:

إرسابات المروحية الطميية Alluvial-fan deposits:

تشتمل إرسابات المروح الطميية على نوعين من الإرسابات هما، إرسابات المدرجات (المصاطب) The terraced deposits، وتنتشر في أبو حصى في أدنى حوض وادي البجيدي إلى الشمال الغربي من سهل عرفات، وعلى جوانب المجاري العليا لحوض وادي الشرائع ووادي البجيدي، وفي جنوب جبل الأسنة. وتعرف تلك الرواسب بضحالتها، وتراكمها، وتصف بألوانها ذات تصريف شجري. وتتألف من حصى خشن و جلاميد صخرية منتشرة على طبقة رملية. والنوع الآخر من الإرسابات هي إرسابات المراوح الغرينية Non-terraced Alluvial-fan deposits ينحصر توزيعها في سهل عرفات إلى الغرب من الضلع الأسود، وقد تكونت بفعل مياه الجريان السطحي خلال فترات المطر الغزير، وتتألف من خليط من الحصى وفتات بحجم ١٠ سم ورمل.

رواسب الركام Talus deposits:

يكثر انتشارها في الأجزاء الجنوبية والشرقية من حوض وادي عرنة، في المنابع العليا لحوض وادي الشرائع ووادي البجيدي في الشرق، وفي سهل عرفات عند جبل دقم التيس والضلع الأسود وشرق جبل سعد. وهي عبارة عن طلاء داكن اللون أو ما يعرف بورنيش الصحراء يكسي أسطح الصخور ويتكون من أكاسيد الحديد والمنجنيز والقليل من الصلصال

تكونت أثناء عمليات التجوية (حسين، ١٩٩٨ م) والأكثر شيوعاً منها يتضمن كسر صخرية ذات زوايا حادة من مختلف الأحجام توجد في الركامات شبه المروحية.

إرسابات الأودية Wadi alluvium:

تنتشر في شرق وجنوب شرق وجنوب حوض وادي عرنة حيث تملئ المجاري العليا لوادي الصدر ووادي جدعان ووادي الشرائع ووادي البجدي ووادي لبن والقناة الرئيسة لحوض وادي عرنة. وهي رواسب معتدلة إلى سيئة التصنيف. تتألف من حصى ورمل تختلف في حجمها وسمكها وشكلها من وادي لآخر، ففي أعلى المرتفعات الجبلية تتسم رواسب مجاري الأودية بأنها غير ناضجة وتحتوي على الجلاميد وأجزاء صغيرة من الحجارة المختلطة بالرمل، بينما تكون رواسب الأودية المنخفضة ناضجة وسميكة ومصنفة بشكل جيد وتتألف من رمل وحصى ناعم إلى متوسط التحب.

الإرسابات المختلطة Undifferentiated alluvial:

يتركز انتشار الرواسب المختلطة في شمال وشرق وجنوب حوض وادي عرنة، في حوض وادي مدرجة، وشعيب البرودو، ووادي أم ليلي، وجنوب الجعرانة، وفي الأودية بين جبال الطارقي والأحبد وحشرب والشعراء وفي الخاسرة جنوب حوض الوادي، كما أنها تغطي أجزاء واسعة من سهل عرفات. وهي عبارة عن رواسب غير مميزة، تتكون بشكل رئيسي من رواسب السهول الفيضية، ولكنها في كثير من الأماكن تختلط معها أنواع أخرى من رواسب الرباعي السهلية الساحلية ورواسب أحواض التصريف الداخلية المتكونة من السلت والرمل. وتلك الرواسب عبارة عن رمال خشنة ذات أطراف حادة مشتقة من طبقات صخور ما قبل الكامبري، وهي تتألف من الكوارتز الغني بالبلاجيوكليز وصخور جوفية تظهر في الأجزاء المنخفضة من الأودية.

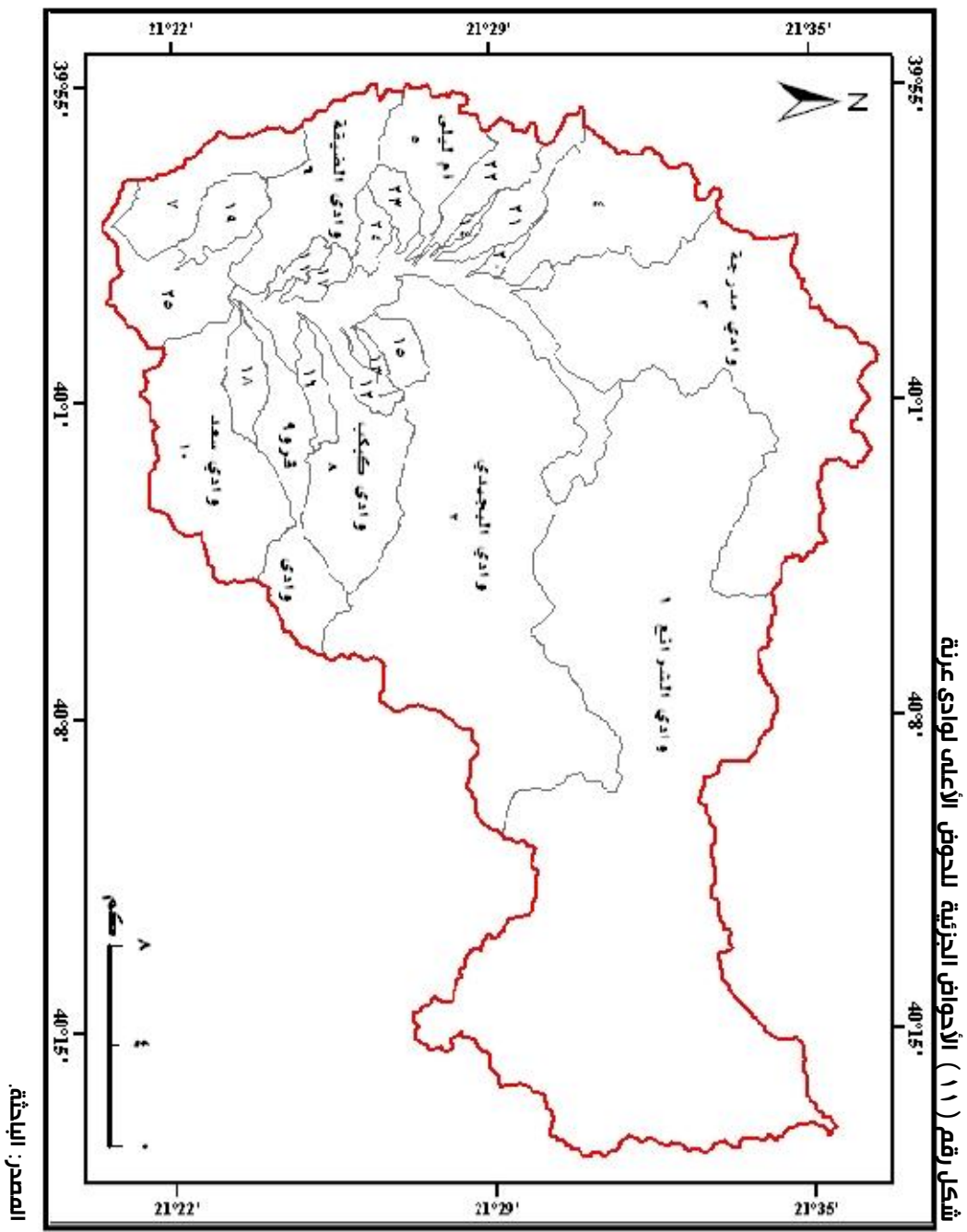
وتتوزع في أنحاء الحوض مجموعة من الصدوع Faults المؤثر في صخور ما قبل الكامبري وتختلف تلك الصدوع في اتجاهاتها وأطوالها، وتتركز في الأجزاء الشرقية والوسطى من الحوض. ولعل من أبرزها صدع وادي الصدر الذي يتجه من الشمال الشرقي إلى الجنوب الغربي مشكلاً مجرى وادي الصدر. كما عملت الصدوع ذات الاتجاه الشرقي على تقطيع معقدي نَعمان وملح مما ساعد على تشكل أودية المجاز وكبكب وقر وسعد في شرق الحوض.

ثانياً: السمات العامة للتضاريس:

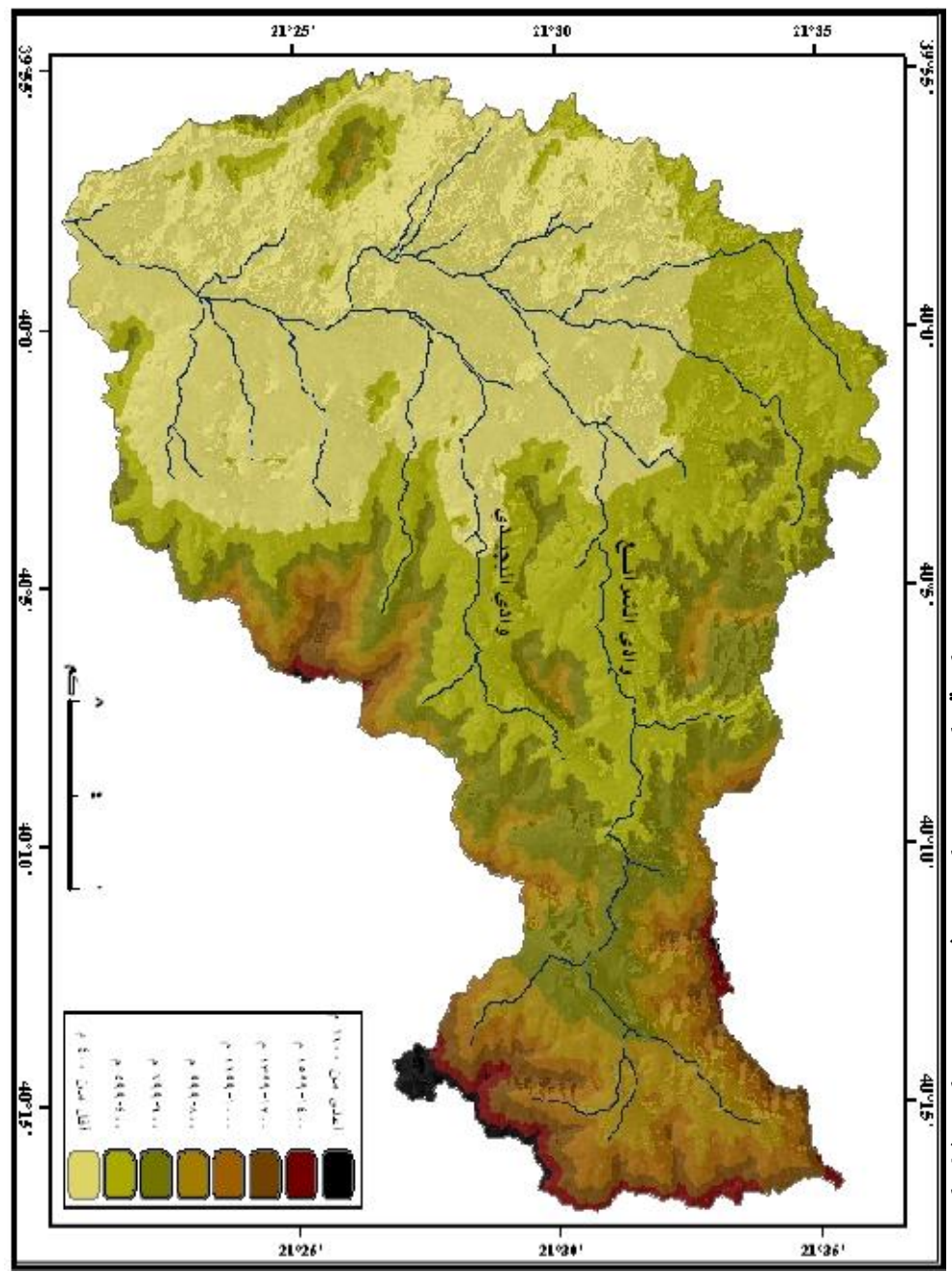
تتسم أحواض التصريف السطحي في البيئات الجافة وشبه الجافة عموماً بشدة تضرسها وانحدارها (سلامة، ٢٠٠٤ م). وتضاريس السطح ما هي إلا نتاج تفاعل العمليات الجيومورفولوجية مع الخصائص البنيوية والجيولوجية والمناخ (الحربي، ٢٠٠٨ م)، وكما أن دراسة تضاريس الأحواض المائية تكشف عن العديد من الدلالات الجيومورفولوجية للأحواض كالمرحلة العمرية للحوض والمساحة وطول وكثافة التصريف وغيرها، فهي أيضاً لها دلالاتها الهيدرولوجية المتعلقة بحركة المياه السطحية وكمية المياه المنصرفة وسرعتها واتجاهات التدفق.

وفيما يختص بتضاريس الحوض الأعلى لوادي عرنة، فإن سطحه مقطع بواسطة شبكة متطورة من المجاري المائية وصلت في ترتيبها الهرمي تبعاً لنظام Strahler إلى الرتبة السادسة، وتكونت رتبة المجرى الرئيس قريباً من المنبع بحيث شكلت ٨٦٪ من الطول الأقصى للحوض مما يدل على نشاط عمليات الحت عند المنابع وزيادة معدلات التشعب في مجاري الرتب الأعلى. وقد اقتصرت الباحثة في تحديد الأحواض الجزئية على أحواض الرتبة الثانية فما أعلى والمتصلة مباشرة بالمجرى الرئيس للحوض، ويوضح الشكل رقم (١١) الأحواض الجزئية لمنطقة الدراسة.

وبالنظر إلى الشكل رقم (١٢) يلاحظ تباين تضاريس الحوض بين الارتفاع والانخفاض والانحدار والاستواء، ويتبين نمط توزيع الوحدات الجبلية في الحوض. كما يلاحظ على المرتفعات الجبلية في شمال الحوض وشماله الغربي بأنها عبارة عن كتل جبلية متفرقة وجبال منعزلة تتخللها أراضي شبه مستوية تشغل أجزاء واسعة من أودية مدرجة والبرود وأم ليلي مما يدل على تقدم الدورة الحتية للحوض بحيث سويت مساحات واسعة من شمال الحوض وشماله الغربي. وفي المقابل لا تزال المرتفعات الجبلية في شرق الحوض متماسكة وإن تكونت بها حوائق عميقة وسفوح شديدة الانحدار ناتجة عن صرف معظم طاقة المجاري المائية في الحت الرأسي، كما لوحظ على بعض الأودية اتخاذها للصدوع المنتشرة هناك مسارات مائية لها كوادى الصدر وأودية المجاز وكبكب وقرو وسعد. ويعود اختلاف تماسك الكتل الجبلية بين أجزاء الحوض في المقام الأول إلى



شكل رقم (١٢) ارتفاعات السطح في الحوض الاعلى لوادي عربة



المصدر: الباحث.

أن التكوينات الصخرية في شرق الحوض أشد صلابة من التكوينات الصخرية في شمال الحوض وشماله الغربي.

وتتدرج ارتفاعات تضاريس الحوض من ٢٧٧ متر فوق مستوى سطح البحر في أدنى الحوض عند مخرجه جنوباً إلى ١٨٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر في أقصى شرق الحوض عند حافة الجرف الانكساري، فيما يبلغ متوسط ارتفاعه نحو ٦٣٣ متر. وتشير نسبة التضرس relief ratio المرتفعة نسبياً البالغة ٢٤,٨ م/كم على شدة تضرس الحوض وانحداره، وهي لا تبعد كثيراً عن نسب التضرس للأحواض المجاورة، ففي وادي ملكان بلغت نسبة التضرس ٣٢,٨ (الحربي، ٢٠٠٨م)، وبلغت في أحواض الحرم المكي الزاهر وإبراهيم ومحسر واللاحجة ١٣,٥١ و ٢٣,١٦ و ٤٥,٤ و ٢٨,٤٢ (مرزا والبارودي، ٢٠٠٥م) على التوالي مما يعكس تأثير الطبيعة البنيوية لأودية الحجاز على سماتها التضاريسية. وترجع أهمية دراسة نسبة التضرس من الناحية الهيدرولوجية في تأثيرها على سرعة الجريان السطحي من ناحية وعلى كمية ونوعية الحمولة النهريّة من ناحية أخرى، فمع ارتفاع نسبة التضرس تزداد سرعة جريان المياه وتزداد قدرتها على حمل كميات أكبر من الرواسب والمفتتات الصخرية (المومني، ١٩٩٧م).

وبدراسة مستويات ارتفاعات السطح لمنطقة الدراسة وجد أن أدنى الفئات ارتفاعاً تشغل ما مساحته ١١٢ كم^٢. بما نسبته ١٨٪ ولا تزيد فيها مناسيب الارتفاع عن ٤٠٠ م ولا تقل عن ٢٧٧ م، وتمتد فئة الارتفاع هذه من مخرج الحوض جنوباً وحتى وسط الحوض إلى الجنوب من طريق مكة السيل السريع. تليها فئة الارتفاع الثانية والتي تتراوح فيها مناسيب الارتفاع بين ٤٠٠ م إلى أقل من ٦٠٠ م وتمثل ما نسبته ٤١٪ من حوض التصريف، وتشغل هذه الفئة أجزاء الحوض الشمالية والغربية والوسطى، وتشغل من القطاع الجبلي المرتفعات الجبلية قليلة الارتفاع والجبال المنعزلة خاصة في شمال الحوض، كما أنّها تمثل أقدام جبال الطارقي والأحذب وحشرب والشعراء في جنوب غرب الحوض، وجبل كبكب في الشرق وجبال لبن الأعلى ولبن الأسفل والأسنة في شمال شرق الحوض. أما الفئات من الثالثة وحتى السابعة فهي تمثل كافة المرتفعات الجبلية في الحوض ابتداءً من منسوب ٦٠٠ م وحتى القمم الجبلية التي يصل منسوب ارتفاعها إلى ١٨٠٠م، وتتركز تلك الفئات في شرق الحوض وشماله الشرقي وفي جنوبه الغربي وجنوبه

الشرقي، وهي عبارة عن مناطق وعرة شديدة التضرس. مما يدل على أن الحوض لا يزال نشطاً في دورته الحتية عموماً وإن كانت بعض أحواضه الجزئية قد قطعت شوطاً في دورتها الحتية كما هو الحال في الأودية الشمالية والغربية منه.

وقد انعكس تأثير شدة تضرس الحوض على انحدارات السطح، فما يزيد عن نصف مساحة الحوض عبارة عن أسطح شبه مستوية إلى خفيفة الانحدار لا يزيد انحدارها عن خمسة درجات، وتشغل أجزاء واسعة في وسط الحوض وجنوبه، وبطون أودية الشرائع والبجيدي وجدعان وسهل المغمس والقمم الجبلية شبه المستوية في شرق الحوض. بينما شكلت الانحدارات التي تتراوح بين ٥-١٨° ما نسبته ١٩٪ من مساحة الحوض وهي انحدارات متوسطة في عمومها. أما الأجزاء التي تتسم انحداراتها بأنها شديدة إلى شديدة جداً يتراوح ميلها بين ١٨° إلى ٤٥° وتشغل قرابة ربع مساحة الحوض، بينما لم تشغل الجروف الصخرية شبه القائمة التي تزيد درجة ميلها عن ٤٥° إلا ما نسبته ٢٪ من مساحة الحوض. ويرتبط تأثير انحدارات السطح بزيادة سرعة جريان المياه، وبالتالي زادة قدرتها على جرف كميات أعلى من الرواسب، كما أن مقدرة المياه الجارية تصبح أكبر في حمل أحجام كبيرة من الرواسب (المومني، ١٩٩٧م).

ثالثاً: التربة:

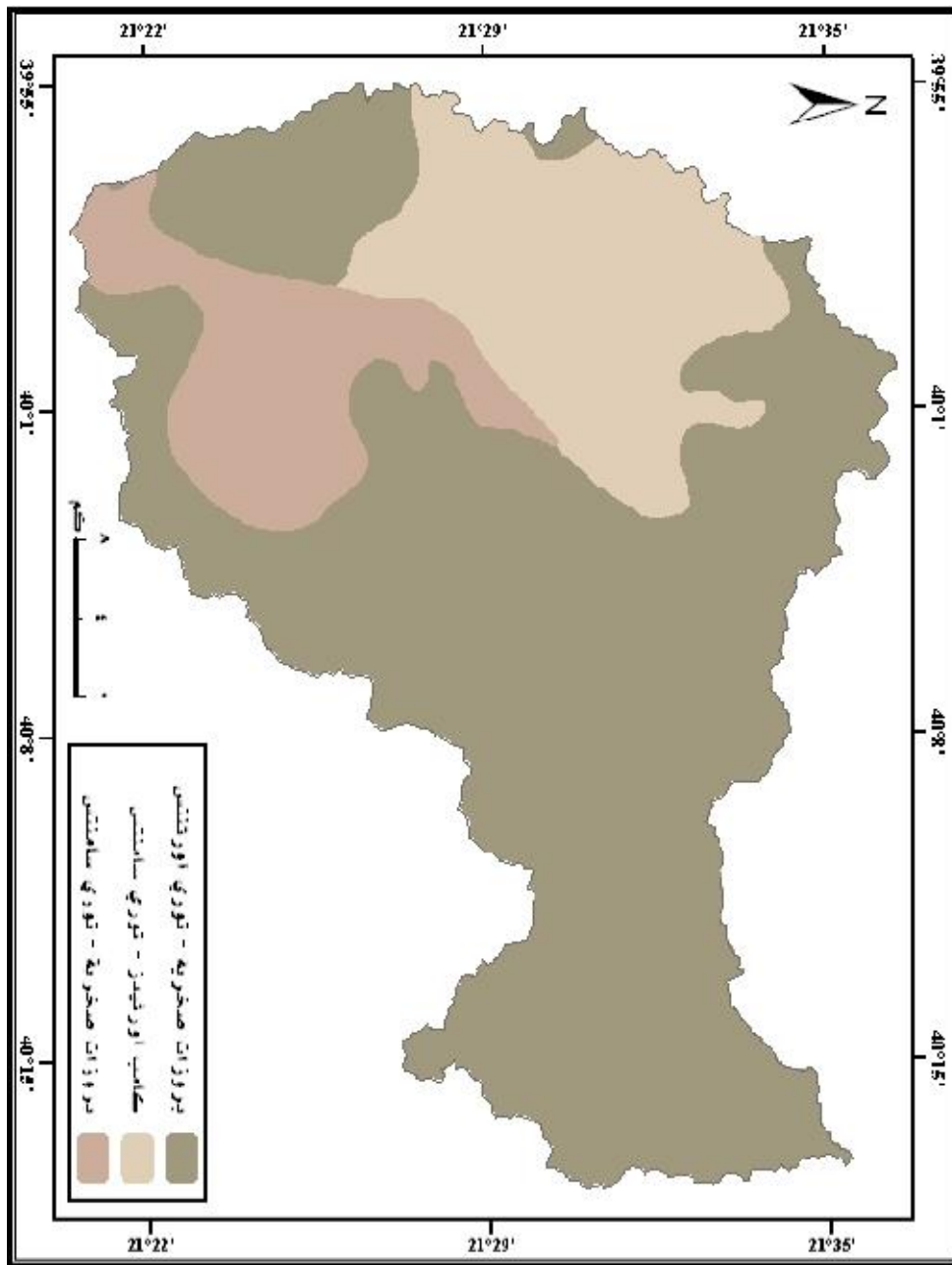
من خلال الخريطة العامة لتربة المملكة العربية السعودية التي تم إعدادها عام ١٤٠٦هـ من قبل وزارة الزراعة، نجد أن تربة المملكة صنفت بناءً على التصنيف الأمريكي المستخدم في تصنيف تربة الولايات المتحدة الأمريكية منذ عام ١٩٧٥م. ويقوم الهيكل العام لهذا التصنيف على تقسيم التربة إلى مجموعتين هي مجموعة الأراضي المعدنية ومجموعة الأراضي العضوية، وتشتمل على عشرة رتب ينتهي اسم كل رتبة بالمقطع (sol) نسبة إلى الكلمة اللاتينية Solum. بمعنى تربة، ويندرج من الرتب بقية وحدات التقسيم وهي: تحت الرتبة وعددها ٤٧، ومجموعة الأراضي العظمى وعددها ١٨٥، وتحت المجموعة وعددها ٩٧٠، والعائلة وعددها ٤٥٠٠، وأخيراً السلسلة وعددها ١٠٥٠٠ (يوسف، ١٤٠٨هـ). وبالنسبة لحوض وادي عرنة فقد

اشتمل في العموم على رتبتين هما رتبة الأراضي الجافة ARIDISOLS ورتبة الأراضي الحديثة ENTISOLS.

وبما أن الطابع الجبلي هو السمة الغالبة على حوض الوادي فقد كان لفئة تربة البروزات الصخرية-توري أورثنتس Rock outcrop-Torriorthents التغطية الأكبر من مساحة منطقة الدراسة بما نسبة ٦٩٪ (شكل رقم ١٣)، و تربة توري أورثنتس تقع ضمن رتبة الأراضي الحديثة. وتمتاز فئة التربة هذه بالاختلاط المعقد بين البروزات الصخرية وتوري أورثنتس فكل منهما نفس النسبة من التكوين والبالغة ٤٥٪ أما ما نسبته ١٥٪ من مكونات هذه الفئة فهي عبارة عن أنواع ثانوية من التربة. وتمثل البروزات الصخرية مناطق المنحدرات الجبلية والحواف الصخرية للجبال والتلال، ويتراوح انحدارها بين ١٥ - ٨٠٪. بينما توجد تربة توري أورثنتس بين مناطق البروزات الصخرية وعلى أطراف المنحدرات، وهي تربة ضحلة جداً إلى ضحلة، طميية حصوية، غير ملحية إلى قليلة الملوحة. نفاذيتها للماء سريعة نسبياً مما يجعل قدرتها على حفظ الماء منخفضة، وهي ترب غير صالحة للزراعة.

ويلي الفئة السابقة فئة تربة البروزات الصخرية توري سامنتس Rock outcrop-Torripsamments وتنتمي إلى فئة الأراضي الحديثة، وتتكون هذه الفئة من التربة من بروزات صخرية على تلال منعزلة شديدة وحادة الانحدار، وتربة على سهول شبه مستوية إلى خفيفة الانحدار. وهناك تداخل معقد بينهما فكل منهما تبلغ نسبته ٤٠٪. وتوجد البروزات الصخرية على هيئة تلال منعزلة يتراوح انحدارها بين ٨ - ٦٠٪، ولا تظهر فيها شبكات المجاري المائية كما هو الحال في الأجزاء التي تمثلها من منطقة الدراسة. أما تربة توري سامنتس فيتراوح انحدارها ما بين ٠ - ٨٪ وهي تربة عميقة رملية عديمة إلى قليلة الملوحة. وتمتاز بسرعة نفاذيتها للماء مما يجعل مقدرتها على حفظ الماء منخفضة. وتمثل هذه الفئة من التربة ١٨,٧٪ من مساحة حوض الوادي، وحيث تشغل معظم حوض الشرائع وروافده والأجزاء شمال الغربية من الحوض، في منطقة الجعرانة وشرائع المجاهدين ومخططات الشرائع، ووادي أم ليلي، ووادي مدرج، وشعيب البرود، وهي ترب غير صالحة للزراعة.

شكل رقم (١٣) تربة الحوض الأعلى لوادي عرزة



المصدر: الخريطة العامة لتربة المملكة العربية

أما فئة تربة كامب أورثيدز توري سامنتس Camborthids Torripsamments فهي تتكون من ٤٥٪ لكلا النوعين من التربة، وتمثل الأنواع الثانوية ١٠٪. وتمثل فئة التربة هذه ١٢,٢٪ من مساحة حوض الوادي، ويتركز توزيعها في سهل عرفات، وهي على هيئة شريط يمتد من جنوب غرب جبل لبن ويتجه نحو الجنوب الغربي حتى إذا ما وصل سهل عرفات شمل كامل مساحة السهل ثم يضيق في المنطقة شمال عرفات ليتسع بعد ذلك ليشمل معظم أراضي عرفات. وتندرج تربة كامب أورثيدز ضمن رتبة الأراضي الجافة Aridisols ويتراوح انحدارها ما بين صفر إلى ٥٪ وهي تربة عميقة طميية غير ملحية إلى شديدة الملوحة، ونفاذيتها متوسطة وبالتالي فإن قدرتها على حفظ الماء مرتفعة. أما تربة توري سامنتس فهي تندرج ضمن رتبة الأراضي الحديثة Entisols ويتراوح انحدارها ما بين صفر إلى ٥٪ وهي تربة عميقة رملية، وأقل ملوحة من تربة كامب أورثيدز، ونفاذيتها سريعة لذلك قدرتها على حفظ الماء منخفضة. وإذا ما أصلحت هذه الترب فإنها ستصبح صالحة للزراعة.

رابعاً: الغطاء النباتي:

صنف النافع (٢٠٠٤ م) نباتات المملكة العربية السعودية إلى ست مجتمعات نباتية هي: المجتمعات النباتية على السهل الساحلي للبحر الأحمر (تمامة) والجزر القريبة منه، والمجتمعات النباتية على المرتفعات الغربية، والمجتمعات النباتية على الهضاب، والمجتمعات النباتية على التكوينات الرملية، والمجتمعات النباتية على السهل الساحلي للخليج العربي والجزر القريبة منه، والمجتمعات النباتية في المياه العذبة وما حولها، ونظراً لصغر مساحة منطقة الدراسة فقد اقتصر على نباتات جبال السروات والتي يندرج ضمن المجتمعات النباتية على الجبال الغربية وتسود فيه غابات السلم *Acacia toetilis* والسرح *Maerua crassifolia* وغابات القرظ *Acacia etbaica* وبعض النباتات الصحراوية وشبه الصحراوية كجنبات الشرق *Indigofera spinosa* والقراد *Salsola*.

ومن خلال دراسة عواري (٢٠٠٥ م) للغطاء النباتي الطبيعي في حوض وادي نعمان التي اشتملت ضمن حدودها على الحوض الأعلى لوادي عرنة فإنه تنتشر في حوض الوادي أشجار العَضاه الشوكية *Acacia tortilis* كأشجار السمر المنتشرة في شرق الوادي، ويتلازم

مع توزيعها أشجار جنبات العُشر *Calotropis procera* التي قد يصل ارتفاعها إلى مترين، وتتوزع أشجار السمر في حوض وادي الصدر، ووادي البجيدي، ووادي لبن كما تنمو في شمال شرق الوادي وفي سهل عرفات. أما أشجار السلم *Acacia toetilis* فيرتبط نموها بمناطق الرواسب الطميية وفي نهايات المراوح الفيضية، وتراوح ارتفاعها بين ٣ - ٦ م وتوجد في الأجزاء من شرق الوادي، وفي حوض وادي لبن.

وفي أجزاء واسعة من حوض وادي عرنة ينمو نبات الحرمل *Peganum harmala* وهو من الجنبات تحت الشجرية المعمرة دائمة الخضرة، ويبلغ متوسط ارتفاعها ٨٠ سم. يتركز نمو الحرمل في حوض وادي الشرائع، وحوض وادي البجيدي، وفي شمال غرب الحوض في شعيب البرود ووادي أم ليلي، وحول المجرى الرئيسي في وسط الحوض، وفي منطقة سهل عرفات ومشعر عرفات. وعلى ارتفاع ١٥٠٠ م تنمو أشجار العُريعر *Juniperus phoenicea* في منابع الحوض الشرقية، ويصل ارتفاع أشجار العُريعر إلى ثمانية أمتار، كما تنمو هذه الأشجار في المنابع العليا لحوض وادي الصدر وفي مرتفعات الجرف الانكساري.

خامساً: المناخ:

يرتبط نوع المناخ السائد وكمية الأمطار الهاطلة بمقدار نشوء الجريان السطحي في منطقة ما. ويلعب المناخ المحلي الدور الأهم في الكشف عن الحالة المناخية ذات التأثير المباشر في حدوث الجريان السطحي وما قد ينجم عنه من مخاطر سيلية. ولتسليط الضوء على الخصائص المناخية في الحوض الأعلى لوادي عرنة لا بد من التطرق أولاً إلى العوامل المؤثرة في ذلك المناخ ضمن الإطار الإقليمي المشتمل على منطقة الدراسة.

العوامل المؤثرة في مناخ حوض وادي عرنة:

يمكن تصنيف العوامل المؤثرة في مناخ حوض وادي عرنة إلى عوامل مكانية تتمثل في الموقع الاحداثي، وتأثير المسطحات المائية، والتضاريس. وأخرى ديناميكية ترتبط بأنظمة الضغط الجوي وحركة الكتل الهوائية. إن امتداد الحدود الهيدروغرافية لحوض وادي عرنة الأعلى بين دائرتي عرض ٣٦° - ٢١° و ٢٠° - ٢١° شمالاً، وبين خطي طول ١٧° - ٤٠° و ٥٤° - ٣٩° شرقاً،

غرب المملكة العربية السعودية، جعله يقع على الطرف الشمالي للمنطقة المدارية حيث اصطبح مناخ حوض الوادي بالصبغة الجافة بصفة عامة. ولا يؤثر عامل الارتفاع على مناخ الحوض وذلك يعود إلى انخفاض ارتفاع السطح عموماً، حيث لا يزيد متوسط ارتفاعه عن ٦٣٣م، أما الأجزاء التي يصل ارتفاعها إلى ١٠٠٠م فما فوق فهي تتسم بمناخ محلي أكثر برودة من الأجزاء المنخفضة. ويبعد حوض الوادي بحوالي ٨٣ كم عن ساحل البحر الأحمر مما يضعف تأثيره على الأجزاء الداخلية كمدينة مكة المكرمة وحوض وادي عرنة الواقع إلى الشرق منها.

ولا يقتصر عمل مراكز الضغط الجوي المتشكلة فوق أراضي المملكة العربية السعودية والأقاليم المجاورة لها على عناصر المناخ الإقليمي والمحلي فحسب بل إنها تؤثر بشكل مباشر في حركة الكتل الهوائية والمنخفضات الجوية وحالات الاستقرار وعدم الاستقرار الجوي، فخلال فصل الشتاء يتكون مركز ضغط جوي مرتفع على أجزاء واسعة من آسيا وشمال أفريقيا ناشئ عن التحام الضغط الجوي المرتفع السيبيري مع الضغط المرتفع الآزوري فينتج عنه انقلاباً حرارياً وجذب للكتل الهوائية المدارية القارية الجافة من وسط آسيا. ويتزامن معه ظهور منطقة ضغط جوي مرتفع على البحر الأبيض المتوسط وجزيرة قبرص يعمل على جذب الكتل الهوائية المدارية البحرية، والقطبية القارية، والقطبية البحرية فينتج عن ذلك تصارع تلك الكتل ونشوء منخفضات جوية تتحرك نحو الشرق مسقطه أمطار على الأجزاء التي تمر عليها. وتدخل تلك الكتل الهوائية إلى أراضي المملكة عند انحرافها إلى يمين مسارها فتصل تأثيراتها إلى وسط وغرب المملكة وينتج عنها سقوط الأمطار الشتوية على عموم أجزاء المملكة بما فيها منطقة مكة المكرمة حيث يقع حوض وادي عرنة. وقد تصل تأثيراتها وإن كانت ضعيفة إلى الأجزاء الجنوبية الغربية من المملكة العربية السعودية (أحمد، ١٩٩٢؛ ١٩٩٧م).

وفي فصل الصيف تتمدد منطقة الضغط المنخفض الاستوائي لتلتحم بمنطقة الضغط المنخفض الموسمي على الهند وباكستان لتغطي كامل منطقة الخليج العربي والمملكة العربية السعودية وإثيوبيا وشمال السودان. وينتج عنها كتل هوائية مدارية قارية وتنشط الرياح المحلية كالخماسين والسموم المعمقة لأثر الجفاف والحرارة، بالإضافة إلى هبوب الرياح الشمالية الشرقية التي تسود على شمال ووسط المملكة (الرحيلي، ٢٠٠٤م). وعلى الأجزاء الجنوبية الغربية من

المملكة تمب رباح جنوبية غربية قادمة من المحيط الهندي ينتج عنها هطول الأمطار الصيفية على تلك الأجزاء وقد يزداد أثرها لتصل إلى وسط المملكة.

وفي فصلي الربيع والخريف الانتقاليين تسود حالة من عدم الاستقرار الجوي بسبب تشكل المنخفضات الجوية على المنطقة، ومن أبرزها منخفض السودان وهو مركز لمجموعة من التيارات الهوائية المختلفة. ويتزحزح من هضبة البحيرات شرق أفريقيا إلى هضبة التبت في وسط آسيا، بالإضافة إلى زحزحة خفيفة ناحية الشمال والجنوب على طول البحر الأحمر مما يؤدي إلى نشوء تيارات هوائية قوية تؤدي إلى سقوط الأمطار على طول الأجزاء الغربية من المملكة (أحمد، ١٩٩٢؛ ١٩٩٧م).

العناصر المكونة لمناخ حوض وادي عرنة:

لا تقع ضمن حدود منطقة الدراسة محطات للرصد يمكن الاعتماد عليها لمعرفة سمات المناخ لمنطقة الدراسة لذلك تم الاعتماد على البيانات المرصودة في المحطات الواقعة بالقرب من منطقة الدراسة كمحطة أرصاد مكة لتعبر عن الوضع المناخي في أدنى ووسط الحوض، أما المرتفعات الجبلية الواقعة في أقصى الشرق الحوض والتي يزيد ارتفاعها عن ١٣٠٠م فقد استخدمت بيانات محطة الطائف لتعكس حالة المناخ المحلي لتلك الأجزاء من الحوض باستثناء عنصر المطر حيث تم الاعتماد على بيانات المحطات المطرية التابعة لوزارة المياه والكهرباء المجاورة لحوض وادي عرنة وبيانات الأمطار لمحطة جامعة أم القرى للتعرف على خصائص الأمطار في منطقة الدراسة. والجدول رقم (١) يبين أنواع المحطات ومدد الرصد المستخدمة في الدراسة.

جدول رقم (١) إحدائيات وأنواع محطات رصد عناصر المناخ المستخدمة في الدراسة

اسم المحطة	خط الطول	دائرة العرض	الارتفاع م	نوع ومدة الرصد
أم القرى O	٣٩ ° ٥١	٢١ ° ٢٤	—	محطة شاملة عدا الرياح (١٩٨٥ - ١٩٩٨ م)
مكة ●	٣٩ ° ٥٠	٢٩ ° ٢١	٣١٠	محطة شاملة (١٩٨٥ - ٢٠٠٨ م)
الطائف ●	٤٠ ° ٣٢	٢٦ ° ٢١	١٤٤٥	محطة شاملة (١٩٧٠ - ٢٠٠٨ م)
مكة	٣٩ ° ٤٩	٢ ° ٢	٢٨٠	محطة مطرية (١٩٦٤ - ٢٠٠٨ م)
وادي محرم	٤٠ ° ١٩	٢٠ ° ٢١	١٨٧٠	محطة مطرية (١٩٦٤ - ٢٠٠٢ م)
الكر السفلي	٤٠ ° ١٢	٢١ ° ٢١	٧٢٠	محطة مطرية (١٩٦٦ - ٢٠٠٥ م)
وادي نعمان ☆	٤٠ ° ٠٩	٢٦ ° ٢١	٥٢٠	محطة مطرية (لم يتوفر تاريخ الرصد)
الفرين	٤٠ ° ٠٧	٢٢ ° ٢١	٥٢٠	محطة مطرية (١٩٦٦ - ٢٠٠٥ م)
شداد	٤٠ ° ٠١	٢٠ ° ٢١	٣٨٠	محطة مطرية (١٩٦٦ - ٢٠٠٥ م)
صلاح ☆	٤٠ ° ٠٦	٣٩ ° ٢١	٥٧٠	محطة مطرية (لم يتوفر تاريخ الرصد)
الكر العلوي	٤٠ ° ١٣	٢١ ° ٢١	٩١٠	محطة مطرية (١٩٦٦ - ٢٠٠٥ م)

O محطة تابعة لجامعة أم القرى، ● محطات تابعة للرئاسة العامة للأرصاد وحماية البيئة، أما بقية المحطات فهي تابعة لوزارة الماء والكهرباء. ☆ (أحمد، ١٩٩٧ م).

و ما يلي هو تحليل لعناصر المناخ (الحرارة، والرطوبة، والرياح، والأمطار) لحوض وادي عرنة.

الحرارة:

كان لموقع حوض وادي عرنة في طرف المنطقة المدارية الحارة الجافة أثره المباشر في ارتفاع قيم درجات الحرارة، حيث بلغ المعدل السنوي للحرارة في أدنى ووسط الحوض ٣١ م، وهي قيمة قريبة من قيم معدلات درجات الحرارة في المناطق الصحراوية والبالغة ٣٠ م (أحمد، ١٩٩٢ م)، مما يعكس أثر وقوع الحوض في طرف المنطقة المدارية في ارتفاع قيم الحرارة، بينما انخفض معدل الحرارة في الأجزاء المرتفعة الواقعة في أقصى شرق حوض الوادي ليصل المعدل الحراري إلى ٢٣ م.

وبالنظر إلى قيم معدلات الحرارة الشهرية في منطقة الدراسة (جدول رقم ٢) يلاحظ تباينها من شهر لآخر، كما أنها تباينت بين المناطق المنخفضة والمرتفعة من الحوض. فقد تراوحت

معدلات الحرارة الشهرية في وسط وأدنى الحوض بين ٢٤ م° في شهر يناير و ٣٦ م° في أشهر يونيو ويوليو وأغسطس، وفي المقابل بلغ أدنى معدل للحرارة في المرتفعات الشرقية من الحوض ١٥ م° في يناير فيما بلغ أعلى معدل للحرارة ٢٩ م° في أغسطس. ويوضح الشكل رقم (١٣) المنحنيات الحرارية لمخطي مكة والطائف الممثلتين للمناخ المحلي للحوض، حيث ظهر منحنى معدل درجة الحرارة لمحطة مكة على هيئة قبة حرارية واسعة الامتداد ابتداءً من شهر مارس وحتى شهر أكتوبر، بينما ضاق اتساع القبة الحرارية لمحطة الطائف لتمتد من شهر أبريل وحتى سبتمبر مما يدل على أن الأشهر الحارة في أدنى الحوض ووسطه تستمر لفترة زمنية أطول منها في المرتفعات الشرقية.

وفيما يتعلق بالمعدلات الحرارية الشهرية لدرجات الحرارة العظمى والصغرى فقد تراوح معدل درجة الحرارة العظمى بين ٣٠ م° في شهر يناير و ٤٣ م° في شهر أغسطس في قلب الصيف، وهذا بالنسبة لأدنى الحوض ووسطه. أما المرتفعات الشرقية فقد تراوحت معدلات درجات الحرارة العظمى فيها بين ٢٢ م° في يناير و ٣٥ م° في يونيو ويوليو وأغسطس، ويلاحظ توازي منحنى معدل درجة الحرارة العظمى لتوازيهما صعوداً وهبوطاً طوال العام مما يدل على أن عامل الارتفاع له دور بارز في خفض درجات الحرارة بين أعلى الحوض وأدناه.

أما المعدلات الشهرية الصغرى لدرجة الحرارة فقد تراوحت بين ١٩ م° في شهري يناير وفبراير و ٢٩ م° في أشهر يوليو وأغسطس وسبتمبر وذلك بالنسبة لوسط الحوض وأدناه، بينما تراوحت بين ٨,٥ م° و ٢٣ م° في شهري يوليو وأغسطس. ويلاحظ من الشكل رقم (١٣) منحنى معدل درجة الحرارة الصغرى لمحطة مكة حيث تشكلت قبة حرارية لها امتداد واسع يبدأ من شهر مايو وحتى أكتوبر، بينما تقلصت تلك القمة بالنسبة للمرتفعات الشرقية من الحوض فانحصرت بين أشهر يونيو وحتى سبتمبر حيث لم يزيد المعدل عن ٢٧ م° خلال ساعات النهار الأولى.

الرطوبة النسبية:

تُظهر القيم المنخفضة لمعدلات الرطوبة النسبية ضعف تأثير عامل البحر الأحمر في زيادة نسبة تشبع الهواء ببخار الماء، حيث تراوح المعدل السنوي للرطوبة النسبية بين ٤٧٪ في وسط وأدنى الحوض بينما انخفض في المرتفعات الشرقية ليصل إلى ٤٢٪.

جدول رقم (٢) المعدلات الشهرية لعناصر المناخ لمحطتي مكة والطائف للفترة من (١٩٧٠-٢٠٠٨م)

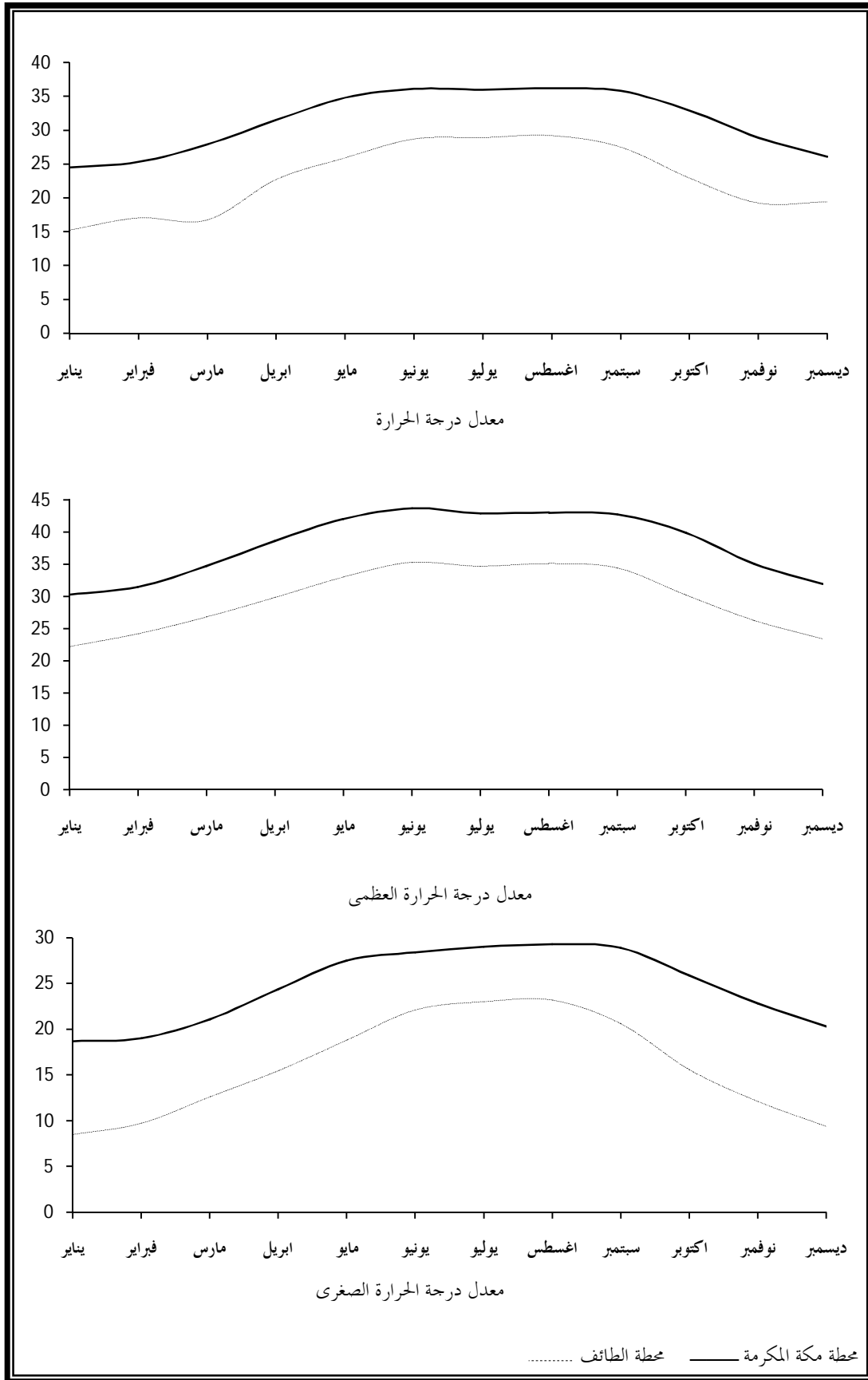
سرعة الرياح (عقدة / الساعة)	الرطوبة			الحرارة (م)			الأشهر
	المعدل	الصغرى	العظمى	المعدل	الصغرى	العظمى	
٣	٥٧	٣٩	٧٦	٢٤,٥	١٨,٧	٣٠,٣	يناير
٣,٥	٥٣	٣٤	٧٣	٢٥,٣	١٩	٣١,٥	فبراير
٣,٦	٤٨	٢٨	٦٨	٢٧,٩	٢١,١	٣٤,٧	مارس
٣,٤	٤٣	٢٥	٦٢	٣١,٥	٢٤,٤	٣٨,٦	أبريل
٣,٣	٣٧	٢١	٥٢	٣٥	٢٧,٥	٤٢	مايو
٣,١	٣٤	١٩	٤٩	٣٦,١	٢٨,٤	٤٣,٧	يونيو
٣,١	٣٥	٢١	٤٩	٣٦	٢٩	٤٢,٩	يوليو
٣,٣	٤٩	٤٣	٥٦	٣٦,٢	٢٩,٣	٤٣	أغسطس
٣	٤٤	٢٥	٦٣	٣٦	٢٨,٩	٤٢,٧	سبتمبر
٢,٧	٤٨	٢٦	٧١	٣٢,٩	٢٥,٩	٣٩,٩	أكتوبر
٢,٤	٥٧	٣٥	٧٨	٢٨,٩	٢٢,٨	٣٥	نوفمبر
٢,٧	٥٩	٣٩	٧٨	٢٦,١	٢٠,٣	٣١,٩	ديسمبر
٦,٢	٦١	١٧	٩٨	١٥,٢	٨,٥	٢٢,٢	يناير
٦,٩	٥٤	١٦	٩٧	١٧	٩,٧	٢٤,٢	فبراير
٧,٦	٤٨	١١	٩٥	١٦,٧	١٢,٦	٢٦,٨	مارس
٧,٢	٤٥	١٢	٩٢	٢٢,٧	١٥,٥	٢٩,٨	أبريل
٦,٥	٣٨	١١	٨٨	٢٥,٩	١٨,٨	٣٣	مايو
٨,١	٢٥	٨	٦٤	٢٨,٧	٢٢,١	٣٥,٣	يونيو
١٠,٣	٢٦	١٠	٦٢	٢٨,٩	٢٣	٣٤,٧	يوليو
٩,٨	٢٩	١٠	٧١	٢٩,٢	٢٣,٢	٣٥,١	أغسطس
٦,٦	٣٢	٩	٧٦	٢٧,٥	٢٠,٦	٣٤,٤	سبتمبر
٥,٦	٤١	١١	٩٢	٢٢,٩	١٥,٦	٣٠,٢	أكتوبر
٥,٦	٥٥	١٥	٩٧	١٩,٢	١٢,١	٢٦,٣	نوفمبر
٥,٥	٦٢	١٩	٩٨	١٦,٤	٩,٤	٢٣,٤	ديسمبر

محطة مكة المكرمة (١٩٨٥ - ٢٠٠٨م)

محطة الطائف (١٩٧٠ - ٢٠٠٨م)

المصدر: حساب الباحثة بالاعتماد على السجلات المناخية لمحطتي مكة المكرمة والطائف

شكل رقم (١٤) معدلات درجات الحرارة لمحطتي مكة والطائف من (١٩٧٠-٢٠٠٨م).



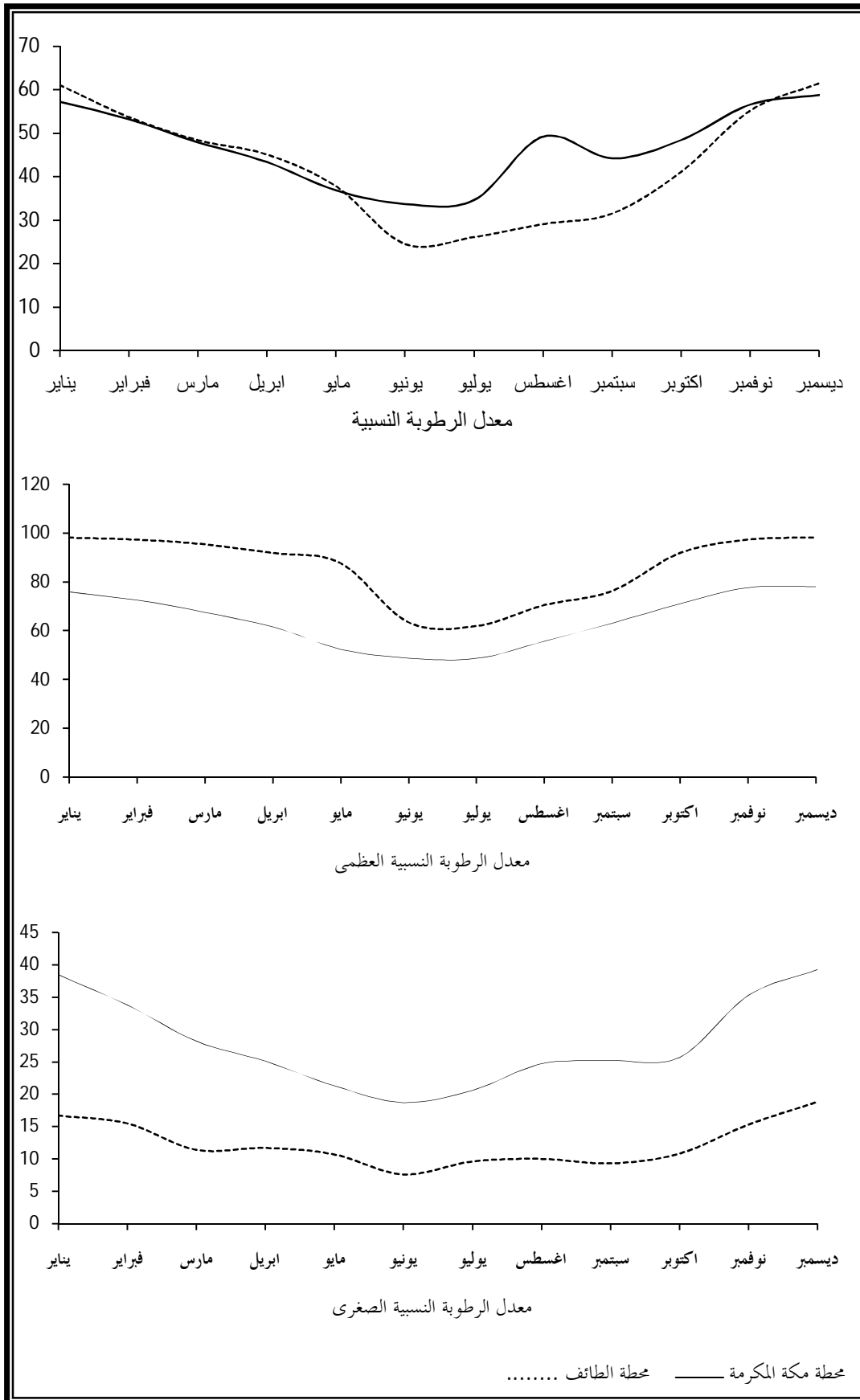
المصدر: عمل الباحثة بالاعتماد على بيانات محطتي مكة والطائف.

وبالنسبة للتوزيع الشهري لمعدلات الرطوبة العظمى والصغرى فكما هو موضح في الجدول السابق شكل رقم (١٤) فقد شهد فصل الشتاء وأوائل الربيع ونهاية الخريف ارتفاع قيم الرطوبة النسبية العظمى، حيث تراوح المعدل ما بين ٤٩٪ في شهري يونيو ويوليو و ٧٨٪ في ديسمبر بالنسبة لوسط وأدنى الحوض، فيما ارتفع المعدل في المرتفعات الشرقية إلى ٩٨٪، وفي جميع الأشهر لم تنخفض الرطوبة النسبية العظمى في تلك الأجزاء عن ٦٠٪. وبالنسبة لمعدلات الرطوبة النسبية الصغرى فقد سجلت أدنى المعدلات عموماً في الأجزاء الجبلية المرتفعة حيث بلغت ٨٪ في شهر يونيو، و ١٩٪ لنفس الشهر في الأجزاء الوسطى والدنيا من الحوض مما يعكس أثر البرودة في خفض معدلات الرطوبة النسبية في المنطق الأكثر بعداً عن تأثيرات البحر الأحمر.

الرياح:

تتباين قيم معدلات سرعة هبوب الرياح الفصلية على أجزاء حوض الوادي ففي الوقت الذي انخفضت فيه المعدلات الفصلية لسرعة هبوب الرياح في وسط وأدنى الحوض بحيث لم تزيد عن ٦,٢ عقدة/الساعة (٤,٩ كم) خلال فصل الربيع نجد أنها خلال نفس الفصل ارتفعت إلى ٧ عقدة/الساعة (١٣ كم) في مناطق المرتفعات الجبلية في أقصى شرق الحوض. وسجل أعلى معدل لسرعة هبوب الرياح خلال فصل الصيف حيث بلغ ٩,٢ عقدة/الساعة (١٧ كم) في أقصى شرق الحوض. ويتضح من خلال التوزيع الشهري لمعدلات سرعة هبوب الرياح بأن أعلى سرعة بلغت ١٠,٣ عقدة/الساعة (١٩ كم) على المرتفعات الجبلية في أقصى شرق الحوض في شهر يوليو، بينما بلغ أعلى معدل سرعة للرياح في وسط وأدنى الحوض ٣,٦ عقدة/الساعة (٦,٧ كم) في شهر مارس، أما أدنى معدلات سرعة هبوب الرياح فبلغت في أدنى ووسط الحوض ٢,٤ عقدة/الساعة (١,٣ كم)، في حين سجل أدنى معدل لسرعة الرياح على أقصى شرق الحوض ٥,٥ عقدة/الساعة (٣ كم) مما يظهر أثر عامل الارتفاع في زيادة سرعات هبوب الرياح على الأجزاء الجبلية من حوض وادي عرنة.

شكل رقم (١٥) معدلات الرطوبة النسبية لمحطتي مكة والطائف للفترة من (١٩٧٠ - ٢٠٠٨ م).



المصدر: عمل الباحثة بالاعتماد على بيانات محطتي مكة والطائف.

الأمطار:

تعتبر الأمطار المصدر الرئيس للجريان السطحي. وتتأثر كمية المياه الجارية بغزارة الهطول، فمع زيادة كمية الأمطار الساقطة يزيد الجريان السطحي، ويحدث العكس مع انخفاض كمية الأمطار حيث ينخفض مقدار المياه الجارية. وتتصف أمطار الأقاليم الجافة وشبه الجافة بانخفاض معدلات هطولها عموماً، وفجائيتها سقوطها وشدتها، حيث تسقط كميات كبيرة من الأمطار خلال فترة زمنية قصيرة فتكون سبباً في نشأة السيول العرمة.

ونظراً لعدم وجود محطات رصد للتساقط داخل الحوض فقد تمت الاستعانة ببيانات المحطات الواقعة بالقرب من منطقة الدراسة (جدول رقم ٣) لحساب المعدلات الفصلية والسنوية للتساقط المطري، ويقدر متوسط الهطول السنوي على الحوض الأعلى لوادي عرنة حوالي ١٥٧ مم، وبلغ أدنى معدل سنوي للأمطار ٩٥ مم في غرب الحوض، بينما بلغ أعلى معدل سنوي للتساقط ٢٠١ مم على المرتفعات الجبلية في شرق الحوض. ويلاحظ أن معدل الهطول السنوي على الحوض لا يتعد كثيراً عن المعدلات السنوية للأمطار في الأحواض المجاورة حيث قدر معدل التساقط السنوي في وادي نعمان بحوالي ٢١٧ مم (البلوشي، ٢٠٠٦ م)، وفي وادي ملكان قدر بنحو ١٥٢ مم (الحربي، ١٤١٨ هـ). وبالنسبة للتوزيع الفصلي للتساقط يلاحظ تباين معدلات الهطول الفصلي حيث استأثر فصلا الخريف والربيع بأعلى معدلات التساقط، ففي فصل الخريف قدر معدل التساقط بنحو ٥٢ مم، وفي فصل الربيع بنحو ٤٦ مم، ثم فصل الشتاء بنحو ٣٩ مم، فالصيف بنحو ١٢ مم. ويوضح الشكل رقم (١٥) خطوط المطر المتساوي للمعدلات السنوية للتساقط على منطقة الدراسة حيث تراوحت بين ١٠٠ مم في أقصى غرب الحوض إلى ٢٠٠ مم في شرق الحوض. ويلاحظ تأثير عامل الارتفاع في زيادة معدلات التساقط بالمناطق الجبلية المرتفعة حظيت بأعلى معدلات للهطول فيما تناقصت معدلات الهطول مع انخفاض الارتفاع.

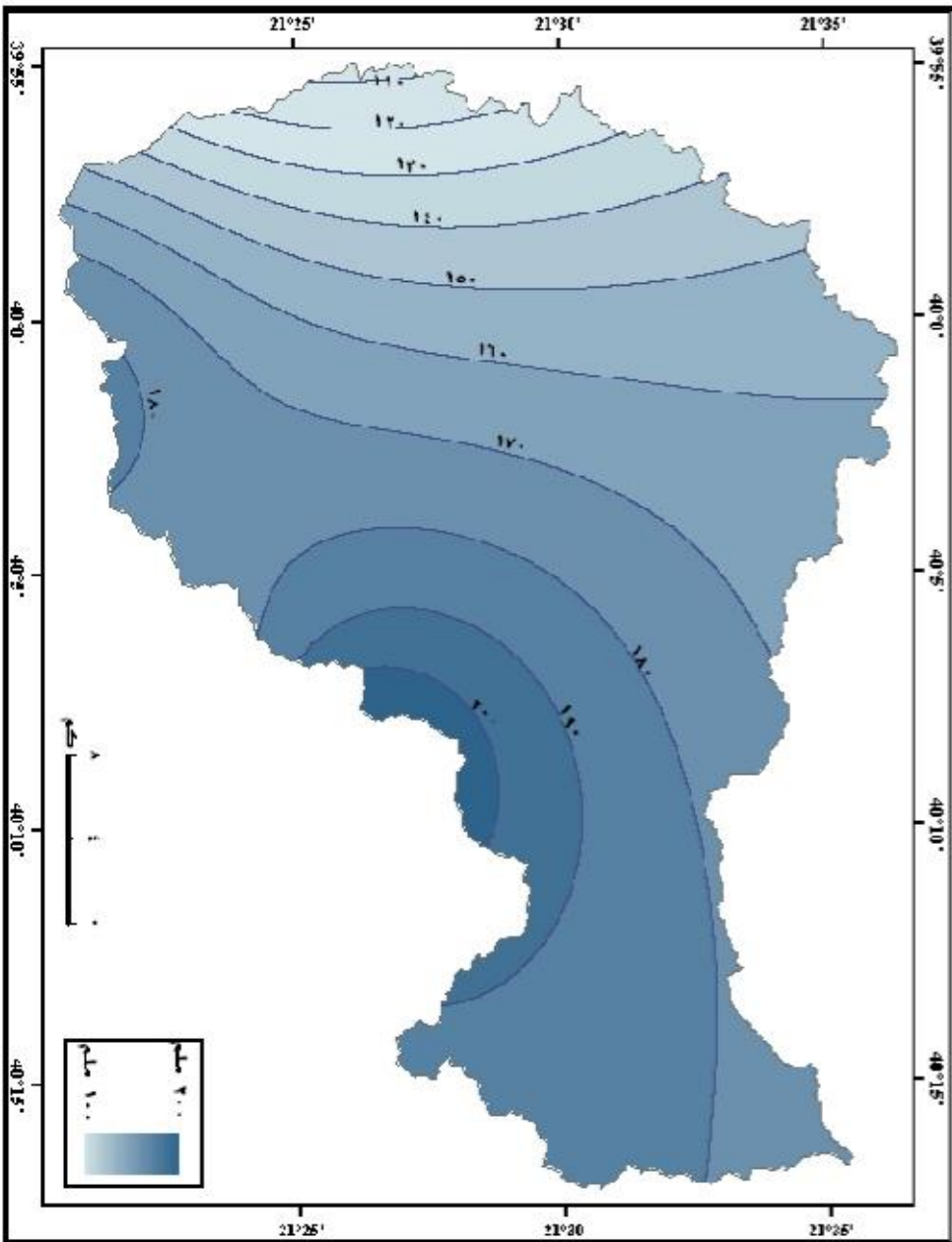
جدول رقم (٣) المتوسطات الشهرية والسنوية للأمطار في المحطات المجاورة لمنطقة الدراسة.

الأشهر	أم القرى	مكة	شدداد	الفرين	وادي نعمان	وادي محرم	صلاح	الكر العلوي	الكر السفلي	المعدل السنوي
يناير	٢٠,٣	١٣,٤	٢٠,٤	٢٣,٥	١٧	١٨,٢	٢٩	١٩,٧	١٧,١	١٧٨,٦
فبراير	١,١	٠	٦,٧	٣	١٤	٥,٩	٩	٦,٢	٦,٦	٥٢,٥
مارس	١,٥	٣,٩	١٣,٦	١٧,٩	١٧	٢٠,٧	٧	١٢,٨	١٤	١٠٧,٤
أبريل	٧,٤	١,٩	٢٠,٣	١٦,٨	١٩	٣١	٢٥	١٩,٨	١٨	١٥٩,٢
مايو	٢,٨	٠,٨	١٩,٥	٧,٩	٢٦	٣٥,٦	١٤	١٨,٩	١٧,٢	١٤٢,٧
يونيو	٠	٠,٥	٤,٩	١,٩	٦	٣,٩	٣	٣,٩	٥	٢٩,١
يوليو	١,٣	٠,٢	٦,٤	٠,٣	٤	٢,٧	٤	٦,٣	٤,٥	٢٩,٧
أغسطس	٥,٥	٠,١	٦,٢	٦,١	٦	٩,٨	٦	٦,٢	٤,٦	٥٠,٥
سبتمبر	١,٣	٠,٩	١٤	١٩,٢	٢١	٦,٥	١٨	١٣,٩	١٧	١١١,٨
أكتوبر	٧,٤	١,٥	٢٧,٨	٢١,٥	٢٣	١٨,٢	١٨	٢٧,٢	٢٣,٧	١٦٨,٣
نوفمبر	١٩,٩	٤,٤	٢٤,٦	٢٢,٩	١٨	٢٧,٤	١٢	٢٢,٣	٢٠,٥	١٧٢
ديسمبر	١٨,٩	٢,٦	١٣,٤	١١,٦	٣٢	١٥	٧	١٣,٣	١٤,٢	١٢٨
المتوسط السنوي	٨٧	٢٩	١٧٨	١٥٣	٢٠٣	١٩٤	١٥٢	١٧١	١٦٢	

المصدر: إعداد الباحثة بالاعتماد على النشرات الهيدرولوجية الصادرة من وزارة الماء والكهرباء.

وتقدر مساحة الأراضي التي تستقبل أعلى معدلات التساقط السنوي التي تتراوح فيها خطوط التساوي ما بين ١٨٠ - ٢٠٠ مم بنحو ٣٠٪ من مساحة الحوض، أما الأجزاء التي تستقبل معدلات سقوط سنوية بين ١٤٠ - ١٧٠ مم فتمثل معظم مساحة الحوض فيما نسبته ٥٩٪ من مساحة الحوض، أما أقل أجزاء الحوض استقباليًا للأمطار فتقدر مساحتها بنحو ١١٪ وتمثل أقصى غرب الحوض حيث يتراوح معدل السقوط السنوي عليها بين ١٠٠-١٣٠ مم.

شكل رقم (١٦) المعدلات السنوية للأمطار في الحوض الأعلى لوادي عرنة



المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على السجلات المطرية للمحطات المجاورة لمنطقة

الفصل الثالث

تقدير الجريان السطحي في الحوض

الأعلى لوادي عرنة

- التحليل الوصفي للبيانات الأولية المتعلقة بغطاءات الأرض وهيدرولوجية التربة.
- استخراج الأرقام المنحنية للجريان السطحي (CNS).
- حساب معامل الإمكانية القصوى للاحتفاظ بالماء بعد بدء الجريان السطحي .
- حساب الاستخلاص الأولي قبل بدء الجريان السطحي.
- تقدير عمق الجريان السطحي.
- حساب حجم الجريان السطحي.

تمهيد:

تستقبل أحواض التصريف السطحي في البيئات الجافة وشبه الجافة موجات مطرية شبه فصلية قد لا تكون كافية لنشوء جريان سطحي ملحوظ، غير أن الموجات المطرية الأكثر غزارة وتلك المصنفة على أنها عواصف فجائية هي الأقدر على توليد كميات أعلى من الجريان السطحي. ولا يمكن اعتبار جميع ما يستقبله حوض التجميع من مياه الأمطار سينصرف على هيئة جريان سطحي، فهناك عوامل قد تفقد بعضاً من تلك المياه كالتبخر، والتسرب، والخزن السطحي، والامتصاص من قبل النباتات. وتعمل مكونات الحوض الطبيعية إضافة إلى العامل البشري على تعزيز حصص تلك الفواقد أو زيادة كمية الجريان السطحي. فمع تنوع مكونات الحوض وزيادة مساهمتها تضعف مقدرتها على توليد جريان سطحي عالٍ، بينما تزداد مقدرة الأسطح على توليد جريان سطحي مرتفع كلما ضعفت مساهمة مكوناتها. أما العامل البشري فقد يسهم من خلال إنشاء قنوات الصرف الصناعية في فقد المياه الجارية على السطح، أو العمل على زيادة المساحات المفتوحة وإعطاء فرصة لتسرب المياه. وقد يحدث عكس ذلك فيسهم في زيادة الجريان السطحي بزيادة الرصف وإغلاق مسارات التدفق الطبيعية ومن ثم صنع بيئة ملائمة لتوليد الجريان السطحي.

ومما سبق نجد أنه لا يعتمد نشوء الجريان السطحي على العاصفة المطرية باعتبارها المصدر الرئيس للجريان السطحي، وإنما عماد ذلك كله على مكونات حوض التصريف الطبيعية والبشرية فيما يعرف بغطاءات الأرض واستعمالاتها، وسمات التربة الهيدرولوجية من حيث مقدرتها على الاحتفاظ بالماء وتفاعلها عموماً مع كمية الأمطار الساقطة على حوض التصريف. كما أن حالة رطوبة التربة المسبقة (Antecedent Moisture Condition) لها تأثير مباشر على الجريان السطحي، من حيث سرعة أو بطء تشكله (MmcCuen, W.D, p, 13).

ويهدف هذا الفصل من الدراسة إلى تقدير الجريان السطحي وحجمه في الحوض الأعلى لوادي عرنة.

أولاً: التحليل الوصفي للبيانات الأولية المتعلقة بغطاءات الأرض وهيدرولوجية التربة:

ترتبط عمليات التصنيف في بيئات المدن بالعديد من النظريات أو الأساليب المفسرة لتوزيع غطاءات الأرض واستعمالاتها، بينما يصعب إخضاع الظواهر الطبيعية لنظرية أو أسلوب محدد يمكن من خلاله تفسير نمط التوزيع لمجمل الوحدات الطبيعية، فكل ظاهرة طبيعية لها خصائصها المستقلة وبالتالي فإن لها مناهج وأساليب لتصنيف خاصة بها، ويمكن من خلالها الوصول إلى شرح وتفسير مختلف جوانب الظاهرة الطبيعية. وقد اقتصرنا هذه الدراسة في تصنيفها لغطاءات الأرض وتحديد السمات الهيدرولوجية للتربة على الأسلوب الذي وضعته مصلحة صيانة التربة الأمريكية (SCS)، حيث حُددت وحدات التصنيف لحوض وادي عرنة وفقاً للوحدات الواردة في جداول أرقام منحني الجريان (ملحق، ب) بما يتوافق مع الخصائص الطبيعية لحوض وادي عرنة.

أ : تصنيف غطاءات الأرض في الحوض الأعلى لوادي عرنة :

من خلال إخضاع بيانات القمر الفرنسي spot-5 لعدة مراحل من المعالجة الآلية كما تبين ذلك في منهج الدراسة، أمكن تمييز ست وحدات غطائية في حوض وادي عرنة هي على النحو الآتي:

1. فئة المرتفعات الجبلية :

كان للوضع الجيولوجي في حوض وادي عرنة أثره في سيادة غطاء جبلي صلب يتألف في معظمه من صخور نارية وأخرى متحولة ليشغل نحو نصف مساحة الحوض (جدول رقم ٤) . فمن الشرق تمتد سلسلة من المرتفعات الجبلية تمثلها جبال الصدر وكنثيل وضحية والأشعر ومسعود شمالاً، ولبن الأعلى ولبن الأسفل بالقرب من وسط الحوض، وجبل الوصيف وبرقة وكبكب حتى جبل سعد عند المخرج. كما تتصل سلسلة أخرى من المرتفعات الجبلية في جنوب غرب الحوض تتمثل في جبال الأحذب و الطارقي وأسلع وخشرب والشعراء قبيل منطقة الخاسرة عند مخرج الحوض. بينما تتناثر الكتل الجبلية المنعزلة في شمال الحوض ووسطه كجبال الأسود ودقم التيس وقرظة، وجبل الستار عند حدود الحرم، وأظلم في أقصى شمال الحوض. تلك المرتفعات الجبلية

جدول رقم (٤) غطاءات الأرض في الحوض الأعلى لوادي عرنة

المساحة %	المساحة كم ^٢	غطاءات الأرض
٤٩,٦٩	٣١٠,٠١٦	منكشفات صخرية
٢٩,٩٧	١٨٧,٠٢٧٦	تربة جرداء
١٠,٢٩	٦٤,٢٤٢٣	رواسب خشنة مفككة
٢,١٠	١٣,١٢٤٨	طرق ومواقف إسفلتية وأسقف مباني
٦,٣٦	٣٩,٦٩١	أعشاب صحراوية فقيرة
١,٥٧	٤,٨٠١٥	أعشاب ذات حالة متوسطة
١٠٠	٦٢٣,٨٩٧١	المجموع

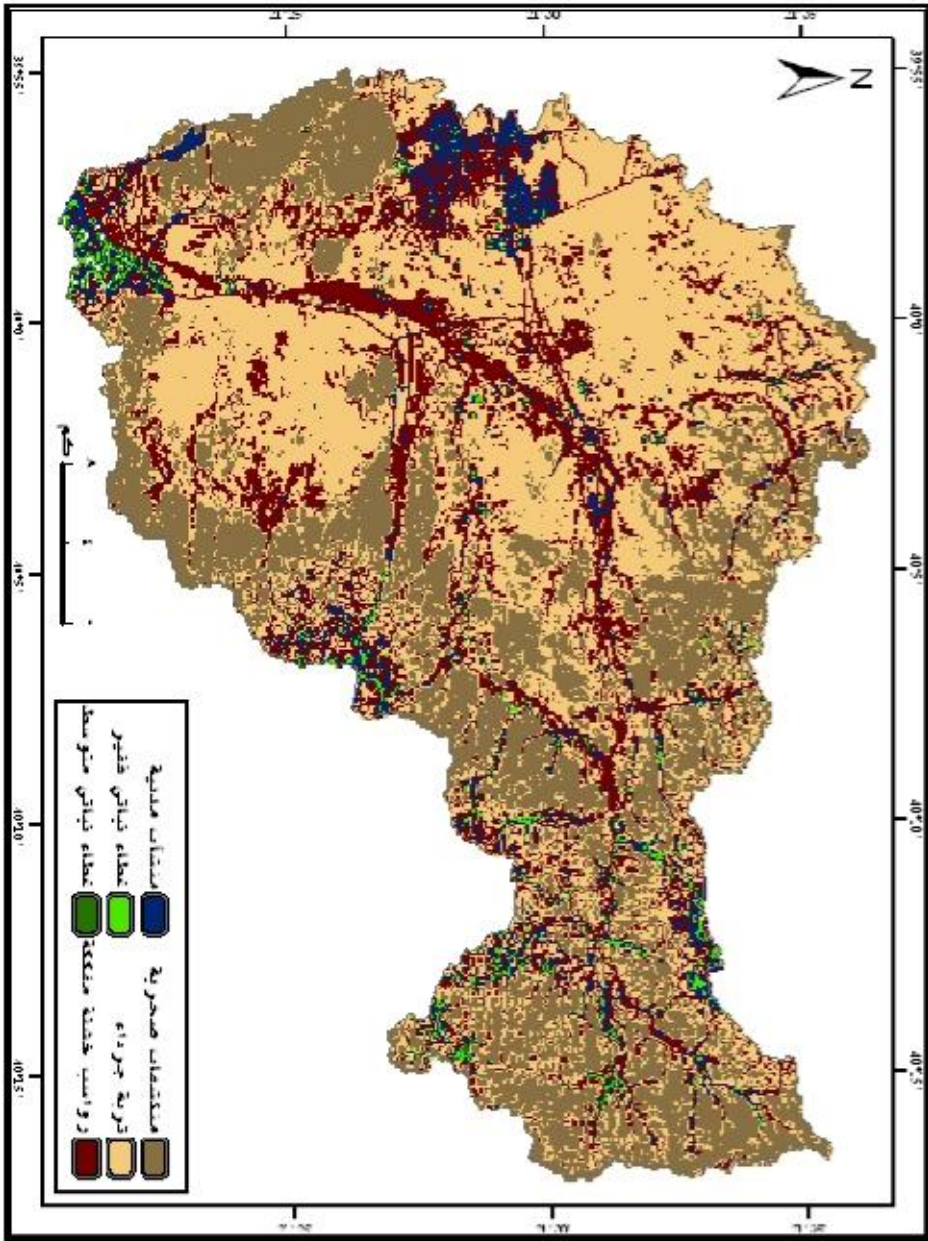
المصدر: الباحثة بالاعتماد على الشكل رقم (١٧).

وإن كانت تختلف في تكويناتها الصخرية وشدة صلابتها إلا أنها في عمومها ضعيفة المسامية لا تسمح بتسرب كميات كبيرة من الماء إلا ما تتلقفه الشقوق والمناطق الصدعية الفاصلة بين أجزائها (شكل رقم ١٦).

٢. فئة التربة الجرداء:

تمثل التربة الجرداء جميع المناطق المفتوحة وغير المستغلة في الحوض، وهي تشغل ١٨٧ كم^٢ بما نسبته ٢٩,٧٩٪ من مساحة الحوض. ويتركز توزيع الترب الجرداء في الأجزاء الشمالية و الشمالية الغربية من الحوض، حيث كونت مجاري أودية مدرجة والبرود وأم ليلي سهولاً فيضياً واسعةً أمكن استغلالها في إنشاء المخططات السكنية. كما أنها تتوزع في أجزاء من وسط الحوض وفي سهل عرفات. ويغلب على تلك الترب الرمل وقليل من السلت، لذا تتسم بارتفاع نسبي في

شكل رقم (١٧) غطاءات الأرض في الحوض الأعلى لوادي عربة .



المصدر: الباحث.

نفاذيتها مما يزيد من فرص تسرب الماء إلى داخلها وبالتالي فإن مقدرتها على توليد الجريان السطحي تكون منخفضة.

٣. فئة الرواسب الخشنة المفككة:

تتألف هذه الفئة من رواسب الأودية الخشنة ومخاريط الفتات الصخري، وهي عبارة عن فتات صخري خشن التحبب يميل لونه إلى الرمادي الداكن. تكونت نتيجة لعمليات الحت والترسيب على طول مجاري الأودية. وتتسم بهذه الرواسب بضحالتها وفقرها في المواد اللاصقة بين جزيئاتها مما أدى إلى تفكك حببياتها، وبالتالي فهي سهلة الجرف أثناء حدوث الجريان السطحي خاصة مع زيادة درجة الانحدار. وهذه الفئة من غطاءات الأرض تشغل ٢٤,٦٤ كم^٢ بما نسبته ١٠٪ من الحوض، وتمتد على هيئة شريط ضيق ابتداءً من وادي الصدر في أقصى شرق الحوض والمجاري العليا لوادي الشرائع، والبجدي والمجاز في الشرق وحتى المجرى الرئيسي لقناة حوض الوادي. إضافة إلى مخاريط الفتات الصخري في أقصى شمال الحوض وعند أقدام جبل ككب في الشرق.

٤. فئة المنشآت المدنية:

وتمثل هذه الفئة جميع مظاهر النمو الحضري في الحوض الأعلى لوادي عرنة، فهي تشمل على جميع أنواع استخدامات الأرض السكنية، والتجارية، والدينية، وشبكة الطرق والمواقف الإسفلتية والأرصفة والكباري. وهي في مجملها لا تزيد مساحتها عن ١٤ كم^٢ أي ما نسبته ١٠,٢٪ من إجمالي مساحة الحوض. وهذه المساحة وإن بدت ضئيلة إلا أنها قابلة للزيادة وشغل مساحات أوسع من الأراضي الجرداء خاصة مع استمرارية النمو الحضري في منطقة الدراسة فزيادة الرصف وتشيد المباني يقلص المساحات المنفذة للماء ليحل محلها مناطق غير منفذة للماء.

٥. فئة الغطاء النباتي الفقير:

تشغل فئة الغطاء النباتي الفقير قرابة ٤٠ كم^٢ بما نسبته ٦٪ من مساحة الحوض. وتتألف من أعشاب صحراوية فقيرة وبعض الشجيرات المتناثرة على سفوح المنحدرات الجبلية والنباتات الحولية الفقيرة على جوانب الأودية.

٦. فئة الغطاء النباتي المتوسط:

وتشغل هذه الفئة النباتية مساحة صغيرة جداً لا تزيد عن ٢ كم^٢ بما نسبته ١,٥٧٪ وهي تتألف من نباتات الأودية وأشجار السلم *Acacia toetilis* والسمر *Acacia tortilis* والطلح وجنابت العشر *Calotropis procera* ، والغطاء الشجري في مشعر عرفات بالإضافة إلى النبات الزراعي.

وللغطاء النباتي أثر مباشر في الجريان السطحي، فكلما زادت كثافة النبات واتسعت مساحة تغطيته انخفضت كمية المياه الجارية على السطح. ويحدث العكس من ذلك إذا ما قل الغطاء النباتي حيث تزيد فرص نشوء الجريان السطحي. ولوحظ تدهور الغطاء النباتي في منطقة الدراسة حيث انخفضت التغطية النباتية من ٨٧,٩ كم^٢ أي بما نسبته ١٤٪ من مساحة الحوض في عام ٢٠٠٣م إلى قرابة النصف في عام ٢٠٠٥م، وهذا الفقد من مساحة الغطاء النباتي يعزز من إمكانية تولد جريان سطحي مرتفع.

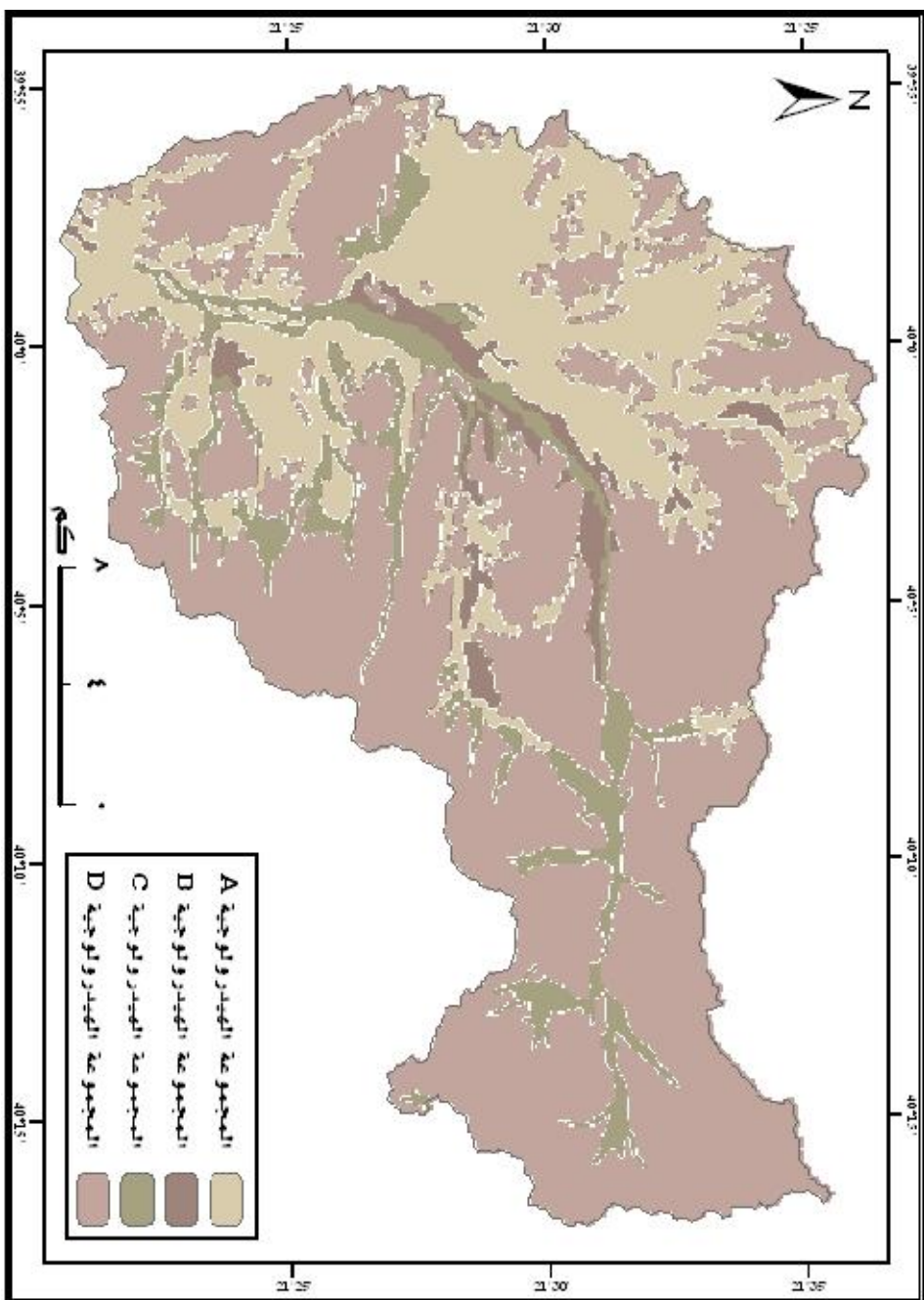
ب: المجموعات الهيدرولوجية للتربة في حوض وادي عرنة:

حددت مصلحة صيانة التربة الأمريكية (SCS) أربع مجموعات هيدرولوجية للتربة (USDA, SCS, 1986) تميز بين مستويات تسرب الماء في داخل التربة، وبالتالي فهي تكشف عن مدى تأثير نسيج التربة في نشوء الجريان السطحي. ويوضح الشكل رقم (١٧) خريطة توزيع المجموعات الهيدرولوجية للتربة في حوض وادي عرنة، والتي صنفت إلى أربعة مجموعات على النحو التالي:

١. المجموعة الهيدرولوجية A:

تمثل هذه المجموعة من التربة رواسب السهول الفيضية الواسعة، وهي عبارة عن ترب رملية عميقة خشنة التحبب (Moore & AL-Rehaili, 1989) ذات قدرة عالية على امتصاص الماء حيث تتراوح معدلات التسرب فيها بين ٢٥,٤ - ٢١٠,٨ مم في الساعة. وتشغل ١٣٩,٦٤ كم^٢ بما نسبته ٢٢,٤٪ من مساحة الحوض (جدول رقم ٥). وتتوزع هذه الترب في شمال الحوض وشماله الغربي في السهول الفيضية لأودية مدرجة، وشعيب البرود، ووادي أم اليلي.

شكل رقم (١٨) المجموعات الميكرولوجية للتربة في الحوض الأعلى لوادي عربة .



المصدر : الساحة

جدول رقم (٥) المجموعات الهيدرولوجية للتربة (HSG) في الحوض الأعلى لوادي عرنة

المساحة %	المساحة كم ^٢	المجموعات الهيدرولوجية للتربة
٢٢,٤	١٣٩,٦٤١٨	مجموعة التربة A
٤,٥	٢١,٦٧٥٩	مجموعة التربة B
١٠,١	٦٣,٠٧٨٩	مجموعة التربة C
٦٣	٣٣٩,٥٠٠٥	مجموعة التربة D
١٠٠	٦٢٣,٨٩٧١	المجموع

المصدر: الباحثة بالاعتماد على الشكل رقم (١٧).

والبجدي، وكبكب في شرق الحوض، كما تشغل منطقة واسعة من سهل عرفات، ومن الجرى الرئيسي لحوض الوادي، ومشعر عرفات.

٢. المجموعة الهيدرولوجية B:

تتألف هذه المجموعة من تربة ضحلة العمق، ذات نسيج خشن (وزارة الزراعة والمياه، ١٩٨٦ م) وهي عبارة عن خليط من الحصى والفتات الصخري والجلاميد الصخرية تربط بينها مواد لاحمة تتألف بصورة رئيسة من السلت (Moore & AL-Rehaili, 1989). وتتراوح معدلات تسرب الماء من خلالها بين ٣,٨١ - ٧,٦٢ مم في الساعة. وينحصر توزيعها في حوض وادي الشرائع، ووادي البجدي، وفي سهل عرفات وتشغل ٢١,٦٨ كم^٢ فيما نسبته ٤,٥٪ من مساحة الحوض.

٣. المجموعة الهيدرولوجية C:

وهي عبارة عن تربة داكنة اللون تحتوي على أكاسيد الحديد والمنجنيز والصلصال. وتتسم بنسيج خشن في المجاري العليا من الأودية حيث يغلب على تكوينها الجلاميد الصخرية والحجارة الصغيرة المختلطة بالرمل، بينما يصبح نسيجها ناعم إلى متوسط التحبب في المجاري الدنيا للأودية (Moore & AL-Rehaili, 1989). وتقدر مساحتها بنحو ٦٣ كم^٢. بما نسبته ١٠٪ من الحوض، وتتراوح معدلات تسرب الماء من خلالها بين ١,٢٧ - ٣,٨١ مم في الساعة، وتنتشر

في مجاري الأودية الضيقة في أودية الصدر، وجدعان، والشرائع، وكبكب، وفي القناة الرئيسة للحوض، ومخاريط الركام الصخري في المغمس.

٤. المجموعة الهيدرولوجية D:

تمثل هذه المجموعة أكبر المجموعات الهيدرولوجية مساحة، حيث تمثل كامل الغطاء الجبلي وتشغل نحو ٣٩٩,٥ كم^٢. بما نسبته ٦٣٪ من مساحة منطقة الدراسة. وهي أضعف الفئات الهيدرولوجية قدرةً على امتصاص ماء حيث لا تزيد معدلات تسرب الماء من خلالها عن ١ مم في الساعة.

ومما سبق نجد أن نحو ثلثي مساحة الحوض عبارة عن ترب جيدة إلى متوسطة الصرف، بينما ما نسبته ٦٣٪ هي عبارة عن مناطق جبلية سيئة الصرف. وبذلك فإن الفئة الهيدرولوجية D هي الأهم لأنها مسئولة عن نشوء معظم الجريان السطحي في الحوض وهذا ينبئ بخطورة الوضع الهيدرولوجي في الحوض الأعلى لوادي عرنة خاصة وأنه يفتقر إلى أي من وسائل الحماية الطبيعية أو الصناعية.

ثانياً: استخلاص الأرقام المنحنية (CNS) للحوض الأعلى لوادي عرنة

تعكس قيم CNS حالة غطاءات الأرض وهيدرولوجية التربة من حيث قدرتها على امتصاص الماء، وهي بذلك مؤشر لمدى استجابة حوض التجميع للجريان السطحي. فقيم CNS المرتفعة تدل على الأسطح شديدة الصماتة Impervious Surfaces والأكثر قدرة على توليد جريان سطحي مرتفع. أما قيم CNS المتدنية فتدل على الأسطح الأقل صماتة أو غير المصمتة Pervious Surfaces حيث تنخفض مقدرتها على توليد الجريان السطحي. ومن واقع قياسات (SCS) فيما يختص بالحالة المعتدلة لرطوبة التربة المسبقة (AMS-II)، وجد أن قيم CNS تمتد في مدى يتراوح بين صفر إلى ١٠٠، وتخصص القيمة ١٠٠ للسطح المصمت تماماً بحيث لا يسمح بدخول الماء في التربة، وبالتالي فإن ما سيسقط على السطح من أمطار سيجري مباشرة عليه. أما القيمة صفر فتشير إلى أن السطح غير مصمت وقادر على استيعاب جميع ما يستقبله من مياه الأمطار. وبين الحدين المتطرفين تقع القيمة الوسطى ٥٠ وهي تعبر عن الأسطح متوسطة

الاصمات بحيث تكون معدلات تسرب الماء في التربة متساوية مع معدلات الجريان السطحي (AL-Ghamdi, 1991). وقد أمكن الحصول على قيم CNS للحوض الأعلى من وادي عرنة من خلال دمج طبقتي غطاءات الأرض والمجموعات الهيدرولوجية للتربة بواسطة وظيفة Combine في برنامج ArcGIS باعتبار أن الحالة المسبقة لرطوبة التربة هي الحالة المعتدلة (AMS-II). ويجوي الجدول رقم (٦) على قيم CNS المستخلصة للحوض الأعلى لوادي عرنة، ويلاحظ تكرار بعض القيم بين غطاءات مختلفة وذات سمات هيدرولوجية مختلفة، فالتربة الجرداء الواقعة ضمن الفئة الهيدرولوجية A والغطاء النباتي الفقير الواقع ضمن الفئة الهيدرولوجية B لهما نفس قيمة CN (٧٧)، وهذا يعني أن لهما نفس القدر من الاصمات وبالتالي لهما القدرة نفسها على توليد الجريان السطحي، أما المنشآت الحضرية فلها رقم منحني ثابت في جميع فئات التربة (٩٨). وبذلك فإن خلاصة القيم المعيرة عن الاصمات في حوض وادي عرنة بلغ عددها ثلاثة عشر قيمة، تراوحت بين ٥٥ للمناطق الأكثر مسامية و ٩٨ للمناطق الأشد صماتة. وبالنظر إلى أدنى قيمة نجد أن جميع قيم CNS للحوض أعلى من القيمة الوسيط ٥٠، في حين بلغ معدل قيمة CN للحوض ٨٨، وهو ما يشير إلى أن مستوى الاصمات في الحوض عموماً مرتفع. كما كشفت قيمة الانحراف المعياري البالغة ٧,٣١ عن تركز قيم CNS حول وسطها الحسابي مما يدل على عدم وجود فروق كبيرة بين معدلات الاصمات فيما بين أجزاء الحوض، ومن ثم فإن الحوض يتسم بمعدلات قريبة من بعض في قيم الجريان السطحي.

توزيع قيم CNS في الحوض الأعلى لوادي عرنة:

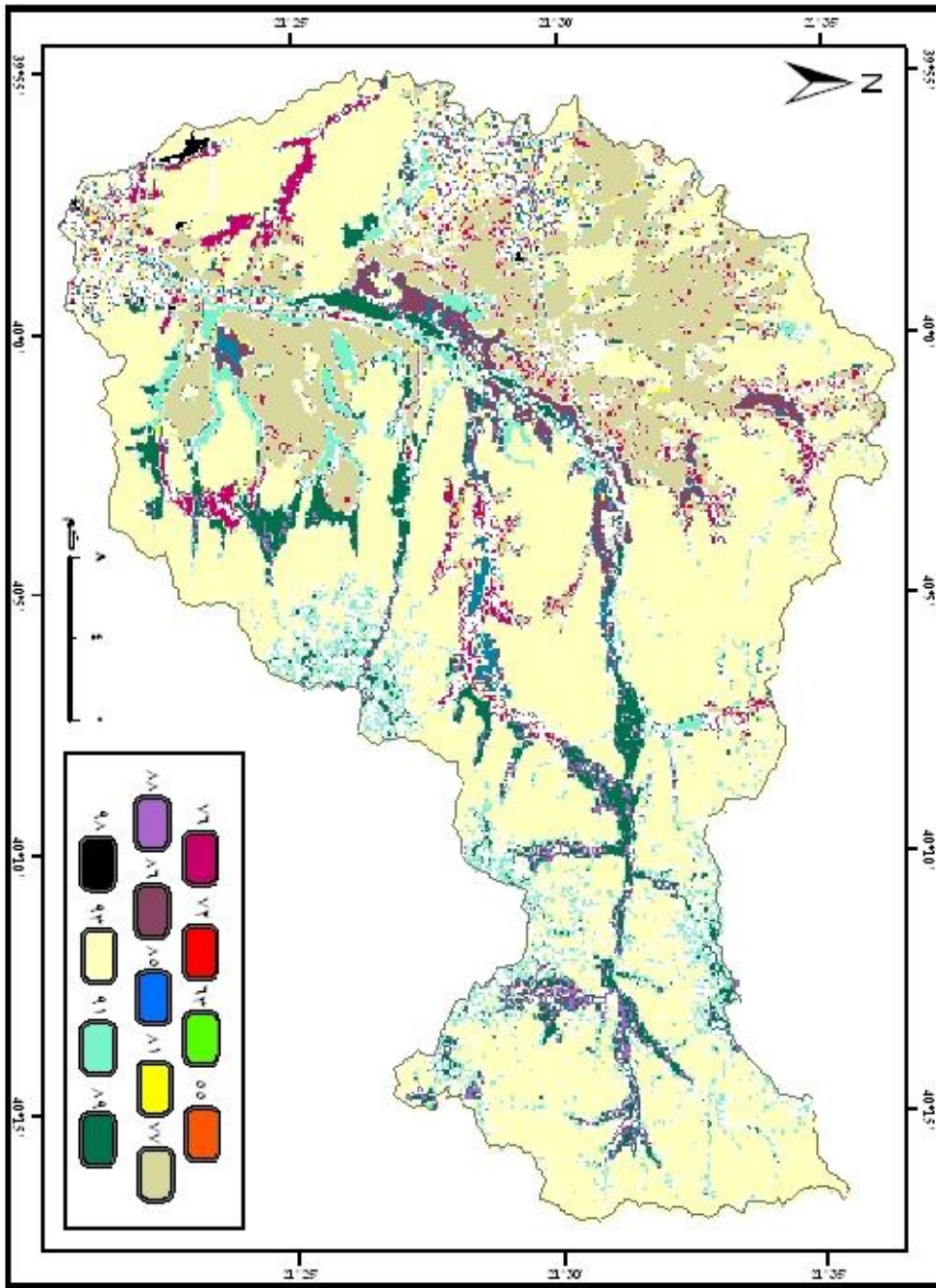
يبين الشكل رقم (١٨) توزيع قيم CNS في منطقة الدراسة، ويلاحظ أن أكثر قيم CNS توزيعاً هي القيمة ٩٣ حيث تشغل ٣٥١ كم^٢. بما نسبته ٥٦٪ من مساحة الحوض (جدول رقم ٧)، وهذه نتيجة متوقعة كون معظم الحوض عبارة عن مرتفعات جبلية ضعيفة المسامية. وبالتالي فإن CN ذات القيمة ٩٣ مسؤولة عن سرعة استجابة ما يزيد عن نصف مساحة الحوض للجريان السطحي، وتمثل هذه القيمة أجزاء جبلية صلبة شديدة الانحدار لا تزيد

جدول رقم (٦) قيم CNS المقابلة لغطاءات الأرض والمجموعات الهيدرولوجية للتربة

المجموعات الهيدرولوجية للتربة				غطاءات الأرض
D	C	B	A	
٩٣	—	—	—	منكشفات صخرية
—	٩١	٨٦	٧٧	تربة جرداء
—	٨٩	٨٥	٧٦	رواسب خشنة مفككة
٩٨	٩٨	٩٨	٩٨	طرق ومواقف إسفلتية وأسقف مباني
٨٨	٨٥	٧٧	٦٣	غطاء نباتي بحالة فقيرة
٨٦	٨١	٧٢	٥٥	غطاء نباتي بحالة متوسطة

المصدر: USDA , 1986 (Tables- 2 a, b, d).

شكل رقم (١٩) الأرقام المدنية للحوض الأعلى لوادي عربة .



المصدر : الساحة

جدول رقم (٧) قيم CNS المستخلصة للحوض الأعلى لوادي عرنة

المساحة %	المساحة كم ^٢	قيم CNS
٠,٤٧	٢,٩٧٧٥	٥٥
٠,٧	٤,٤٦٢٣	٦٣
٠,٠٩	٠,٥٧٩	٧٢
٥,٣	٣٣,٢٧٤٤	٧٦
١٦,٥	١٠٣,٣٧٢٢	٧٧
٠,٣	٢,٠٤٣٩	٨١
٢,٠	١٣,٠٣١٨	٨٥
٢,٥	١٥,٩٤٦١	٨٦
٤,٦	٢٩,٢٣٢٦	٨٨
٦,٣	٣٩,٣٦	٨٩
٢,٤	١٥,٢٧٠٨	٩١
٥٦,٢	٣٥١,٢٢١٧	٩٣
٢,١	١٣,١٢٤٨	٩٨
١٠٠	٦٢٣,٨٩٧١	المجموع

المصدر: الباحثة بالاعتماد على الشكل رقم (١٩).

فيها معدلات التسرب خلال ساعة عن ٢,٥ مم، كما أنها تحيط بالحوض من جميع الجهات تقريباً وهذا يعني أن ما سيسقط من أمطار على تلك المرتفعات سينصرف نحو المناسيب الأقل ارتفاعاً مما يجعل المنشآت الحضرية والأنشطة البشرية الواقعة في الأودية الضيقة كوادي الصدر والبجيدي وجدعان أكثر أجزاء الحوض عرضة لمخاطر السيول.

وتشغل قيمة CN البالغة ٧٧ المرتبة الثانية في الحوض من حيث المساحة، حيث قدرت مساحتها بنحو ١٠٣ كم^٢، وهذا يعني أن قيمة CN ٧٧ مسئولة عن استجابة ١٦٪ من الحوض للجريان السطحي في الأجزاء الواقعة في شمال الحوض في أودية مدرجة والبرود وأم ليلي، وفي أجزاء من وادي جدعان والبجيدي وكبكب وسهل عرفات وفي منطقة الخاصرة بالقرب من مخرج الحوض. أما بقية قيم CNs ما دون القيمة ٧٧ فإن أيًا منها لا تمثل أكثر من ٦٪ من مساحة الحوض.

واختصت أعلى قيم CNs في الحوض والبالغة ٩٨ بالغطاء الحضري المتمثل في الطرق والموقف الإسفلتية وأسقف المباني وتشغل ١٣ كم^٢ فيما نسبته ٢٪ من مساحة الحوض، وهي جميعها أسطح شديدة الصماتة تحول جميع ما يسقط عليها إلى جريان سطحي. ويلاحظ من الجدول السابق ثبات قيمة CN للطرق وأسقف المباني في جميع المجموعات الهيدرولوجية للتربة أي ثبات سمة التفاعل بين الطرق وأسقف المباني والتربة فيما يتعلق بالتسرب، ويعود السبب في ذلك إلى أن المنشآت الحضرية مصنوعة من مواد غير مسامية لا تسمح بانتقال الماء من خلالها، فهي أشبه بالغطاء على سطح التربة، كما أنها لا تنتمي لمكونات السطح الطبيعية مما يجعل استجابتها واحدة مهما اختلف نوع التربة، لذلك فإن قيمة CN للمنشآت الحضرية ثابتة لا تتأثر باختلاف معدلات التسرب بين مجموعات الترب.

ووجد أن أقل الأرقام المنحنية المستخلصة للحوض تختص بالغطاء النباتي، حيث ذكر وينغ (Weng, 2007, P 15) بأن الاصمات ينخفض مع زيادة الكثافة النباتية، وبذلك فإن القيمتين ٥٥ و ٦٣ تسهمان في أعلى نسب التسرب للمياه في التربة، وأقل معدل للجريان السطحي، إلا أن مقدار إسهام النبات في خفض معدلات الجريان السطحي في الحوض يعتبر ضعيفاً نظراً لقلّة ما يشغله النبات من مساحة الحوض حيث لا تزيد نسبة مساحته عن ١٪ من مساحة الحوض.

ومما سبق يمكن تصنيف مستويات الاصمات في الحوض على النحو الآتي:

- أن ما يزيد عن ٣٥٠ كم^٢ من مساحة الحوض عبارة عن أسطح شديدة الصماتة لا تقل فيها قيم CNS عن ٩٠ وهي تمثل جميع المرتفعات الجبلية في الحوض والمنشآت الحضرية بالإضافة إلى الترب الجرداء ضعيفة المسامية، ومعدلات تسرب الماء من خلالها لا تزيد عن ٢,٥ مم في الساعة عدا ما نسبته ٤٪ من هذه الفئة حيث ترتفع فيها معدلات التسرب إلى ٦,٩ مم في الساعة، وبالتالي فإن هذا المستوى من الاصمات هو المنيع الرئيس لما نسبته ٦١ ٪ من مياه الجريان السطحي في الحوض.
- تشغل الأسطح عالية الصماتة قرابة ٦٠ كم^٢، تتراوح فيها قيم CNS ما بين ٨٠ إلى أقل من ٩٠ ولا تزيد معدلات التسرب في الساعة عن ٢٥ مم. وتوزع هذه الفئة على السفوح الجبلية المكسوة بغطاء نباتي فقير من أعشاب وشجيرات متنوعة. كما مثلت هذه الفئة مجاري الأودية الضيقة في الصدر وجدعان والبجدي والقناة الرئيسة لوادي الشرائع وجميعها أودية ذات ترب ضحلة العمق، وبالتالي فإن جزءاً محدوداً من مياه السيول تتسرب إلى التربة.
- أما الأسطح متوسطة الصماتة والتي تتراوح فيها قيم CNS بين ٧٠ إلى أقل من ٨٠ فتشغل ما نسبته ٢٢ ٪ من الحوض وتوزع في النواحي الشمالية والشمالية الغربية وفي سهل عرفات ووادي البجدي. وهذا المستوى من الاصمات يقع على أجزاء لا تزيد فيها درجة الميول عن خمس درجات في حين تصل فيها معدلات التسرب إلى ٢٥ مم في الساعة وبالتالي فإن إسهامها في تشكل الجريان السطحي واندفاعه نحو أدنى الحوض منخفض.
- لا تزيد مساحة أعلى أجزاء الحوض مسامية وأقلها استجابة للجريان السطحي عن ٧ كم^٢ وفيها تقل قيم CNS عن ٧٠ ، وتصل مقدرتها على صرف ٢١٠,٨ مم من الماء في الساعة. وهي تمثل النباتات الفقيرة والمتوسطة المتناثرة في أقصى شمال الحوض، وفي ضفاف أودية الصدر والبجدي والشرائع وفي وسط الحوض، ومشعر عرفات.

استخلاص قيم CNS الموزونة للأحواض الجزئية:

تعتبر قيم CNS الموزونة Weighted Curve Number عن معدل الاصمات لكل حوض جزئي. وترجع أهمية حساب قيم CNS الموزونة للأحواض الجزئية في إلقاء الضوء على تباين الاصمات في الحوض الأعلى لوادي عرنة بناءً على أحواضه الجزئية، ومعرفة أي الأحواض أكثر قدرة على توليد جريان سطحي مرتفع، وأيها أقدر على تصريف كميات أعلى من مياه الأمطار إلى داخل التربة. كما تفيد دراسة قيم CNS الموزونة للأحواض الجزئية في التعرف على المواقع المهددة بخطر السيول في الحوض، وتلك التي تعد في مأمن من الخطر السيولي.

وحسب طريقة (SCS) فإن قيم CNS الموزونة هي حاصل ضرب كل رقم CN في نسبة ما يمثله من مساحة الحوض، ثم تجمع النواتج وتقسم على ١٠٠ (USDA, 1986, P.2-1). ومن خلال وظيفة Raster Calculator إحدى أبرز وظائف المحلل المكاني Spatial Analyst في برنامج ArcGIS أمكن الحصول على قيم CNS الموزونة للأحواض الجزئية كما هو مبين في الجدول رقم (٨).

وبدراسة الاصمات على مستوى الأحواض الجزئية في منطقة الدراسة وجد أن جميع الأحواض الجزئية تزيد قيمة CN الموزونة فيها عن أدنى قيمة مستخلصة للحوض وهي ٥٥، كما أنه لا يوجد أي حوض جزئي تصل فيه قيمة CN الموزونة إلى ٩٨، وهي أعلى قيمة CN مستخلصة لحوض وادي عرنة الأعلى. وتراوحت قيم CNS للأحواض الجزئية بين ٧٨ في الحوضين (١٤ و ١٦) وبين ٩٢ للحوض رقم (٢٣) مما يدل على ارتفاع معدلات الاصمات عموماً في الأحواض الجزئية. وبمقارنة قيم CNS للأحواض الجزئية بمعدل قيمة CN لمجمل الحوض البالغة ٨٨، وجد أن ٨٪ من أحواض التصريف تساوي قيمها الموزونة معدل قيمة CN للحوض، وأن ما نسبته ٣٦٪ من الأحواض جزئية تزيد فيها قيم CNS الموزونة عن المعدل،

جدول رقم (٨) قيم CNS الموزونة للأحواض الجزئية

الانحدار %	قيم CNS	المساحة كم ^٢	الحوض الجزئي
٢٦,٢٤	٩١	٢١٣,٥٥٩٢	١
٢٢,٢٤	٨٩	١٠٧,٥٨٦	٢
١١,٠٢	٨٦	٧٥,٤٦٥٩	٣
٦,٠٣	٨٣	٢٣,٣٢٨	٤
١٣,٦٦	٨٨	١٢,٨١٤٢	٥
٢٥,٥٩	٨٩	٢٠,٠٧٣٦	٦
٢٢,٢٨	٨٧	١٣,٣٧٤	٧
١٨,٠٣	٨٨	٢١,٠٣٩٣	٨
٢٥,٩٨	٨٩	١٧,٥٤١	٩
٢٠,٣٥	٨٩	٣٠,٦٤٥٩	١٠
٣,٦٢	٨٣	١,٧٩٩١	١١
٩,٢٤	٨٦	١,٩١٠٧	١٢
٩,٢٩	٩٠	١,٢٥٣٧	١٣
٢,١٤	٧٨	٠,٧٨٤٨	١٤
٩,٣٣	٨٥	٣,٨١٤٢	١٥
٢,٤٨	٧٨	٣,٧١٤٣	١٦
٩	٨٧	٢,٣٤٥٤	١٧
٥,٢٦	٨٦	٤,٩٦٤٤	١٨
٢١,٠٢	٩٠	٦,١٥٣٣	١٩
١,٢٨	٧٨	١,١٤٣	٢٠
١٠,٦٧	٨٢	٦٩٣٩٩	٢١
٤,٢٣	٨٢	٧,٢٢٠٧	٢٢
٢٥,٣٢	٩٢	٣,٣٠٣٩	٢٣
٢١,٩٩	٩١	٢,٨٢٣٣	٢٤
٦,٨	٨٣	٤٠,٢٨٤٩	٢٥

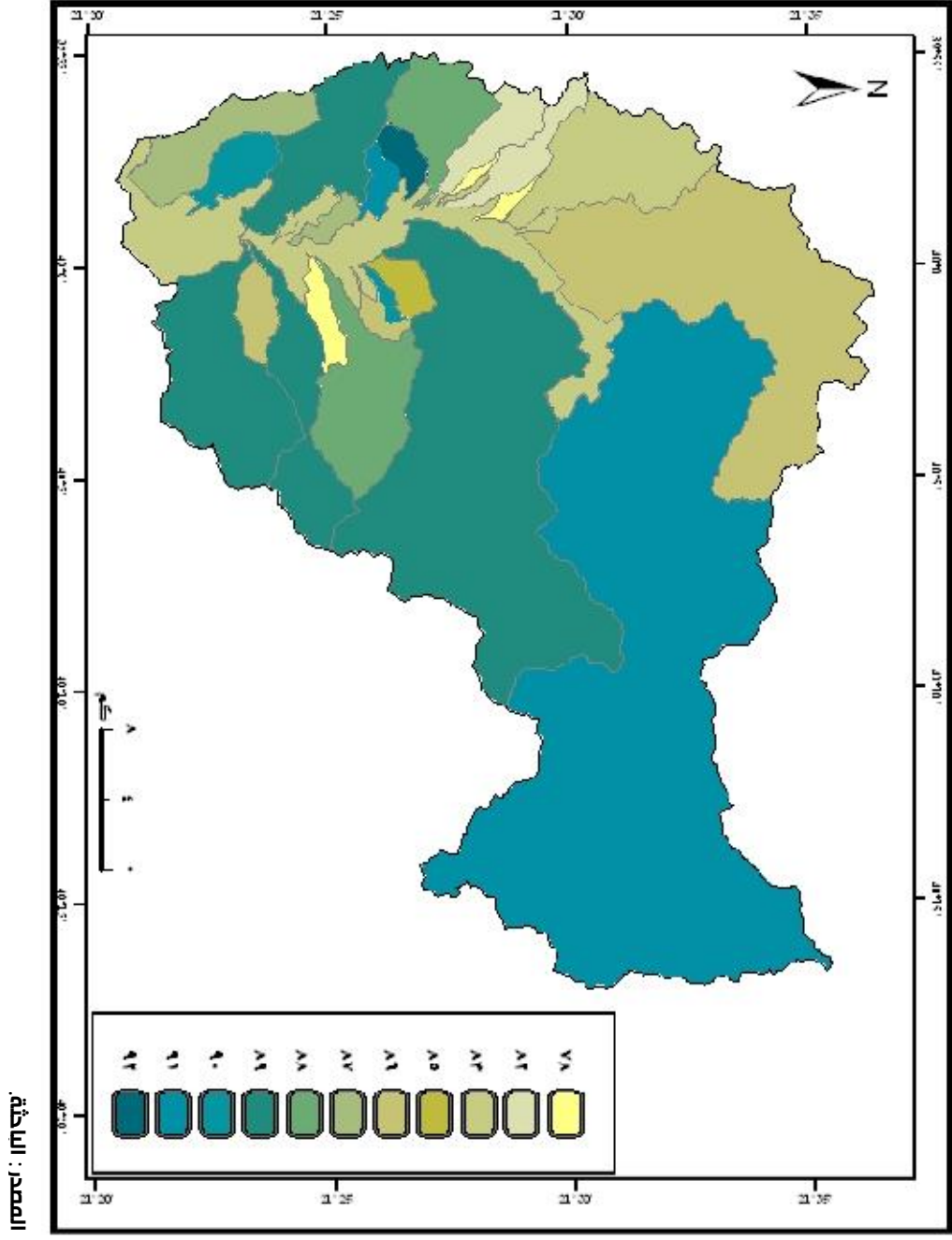
المصدر: الباحثة.

أما ما نسبته ٥٦٪ من أحواض التصريف فتقل فيها قيم CNS الموزونة عن المعدل، غير أن جميع القيم التي هي أقل من الوسط الحسابي تزيد عن ٧٠ ، وبالتالي فإن حوض وادي عرنة الأعلى وأحواضه الجزئية تعتبر ذات صماتة عالية بالنظر إلى أدنى قيم CNS عموماً. وفي العموم من الممكن أن تكون لقيم CNS المستخلصة للحوض ولأحواضه الجزئية دلالة أعمق إذا ما قورنت بقيم أحواض تصريف أخرى من نفس القطاع.

وبمقارنة قيم CNS الموزونة بين الأحواض الجزئية نجد أن أكبر الأحواض مساحة، وهما حوض وادي الشرائع وحوض وادي البجيدي لهما قيمة عالية حيث بلغت في وادي الشرائع ٩١ ، وفي وادي البجيدي ٨٩ ، وبالتالي يمكن أن نستنتج عطفاً على المساحة وقيم CNS أن حوضي الشرائع والبجيدي هما أهم الأحواض الجزئية المغذية للقناة الرئيسة بمياه الجريان السطحي.

وبالنظر إلى الشكل رقم (١٩)، نجد أن الأحواض (٦ و ٧ و ١٠ و ١٨ و ١٩) تشكل تهديداً كبيراً على مشعر عرفات لأن جميع مياهها تنصرف مباشرة نحو مشعر عرفات، وهي أحواض عالية الصماتة حيث بلغت فيها قيم CNS ٨٩ ، ٨٧ ، ٨٩ ، ٨٦ ، ٩٠ على التوالي، وباستثناء حوض رقم (١٨) وجد أن انحدارات تلك الأحواض تقع ضمن الانحدارات الشديدة التي لا تقل درجة ميلها عن ١٨٪ الأمر الذي يؤكد خطورة الأحواض الواقعة بالقرب من مخرج الحوض على مشعر عرفات لذلك فإنه يجب اتخاذ تدابير تحمي مشعر عرفات من مخاطر سيول تلك الأودية.

ويعتبر الحوض رقم (٢٣) أشد الأحواض الجزئية صماتة حيث بلغت قيمة CN فيه ٩٢ ، والقطاع الأعلى من الحوض عبارة عن مرتفعات جبلية غير مستغلة، أما قطاعه الأدنى فتركز فيه المباني السكني، مما يجعل أجزائه الدنيا معرضة لخطر المياه المندفعة من أعلاه والتي ستتجه مباشرة نحو المناطق المعمورة لذلك لا بد من تحويل مسارات القنوات المائية بعيداً عن المباني السكنية لحمايتها من مخاطر السيول.



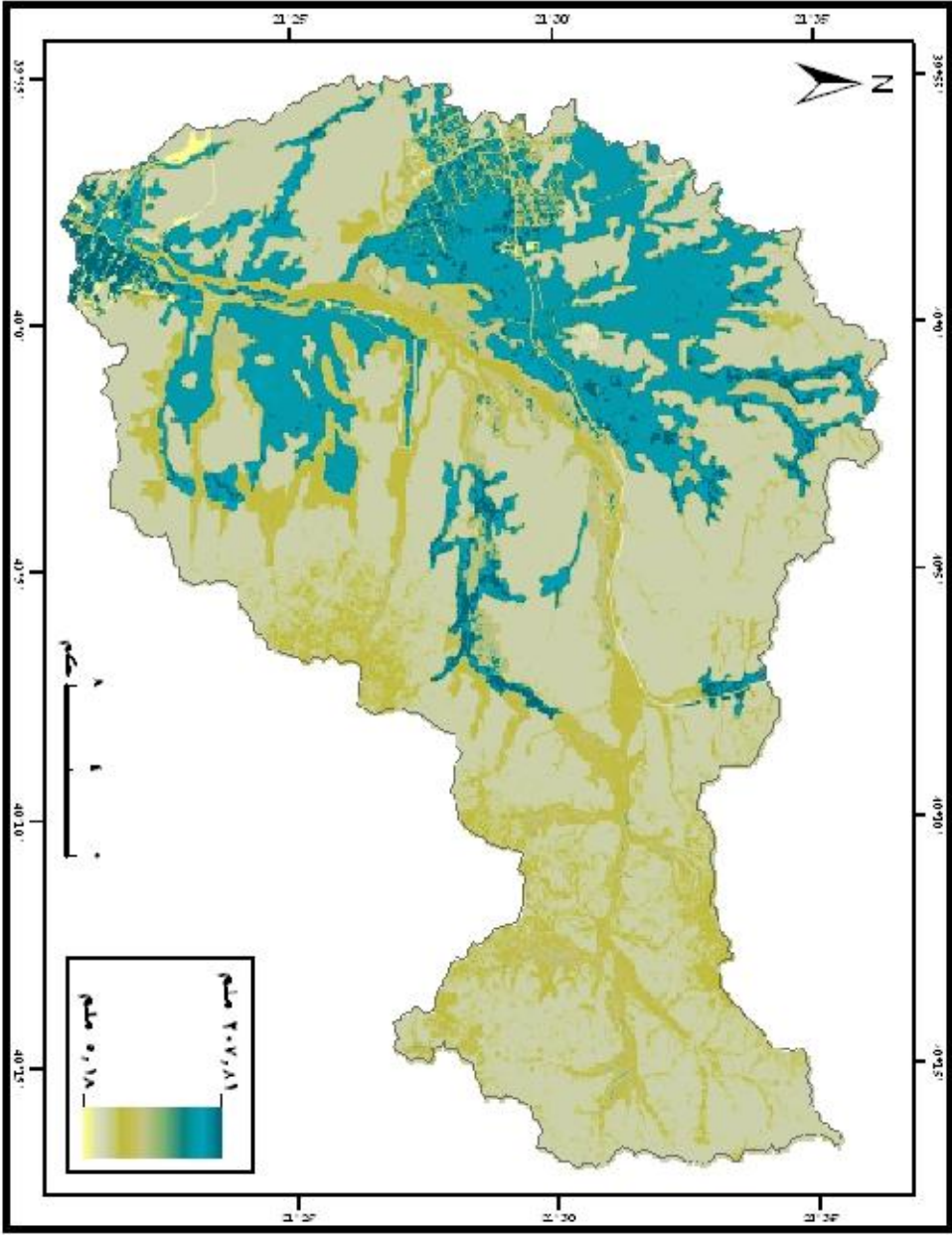
ثالثاً: حساب معامل الإمكانية القصوى للاحتفاظ بالماء بعد بدء الجريان السطحي

يعبر المعامل (S) Potential Maximum Retention After Runoff عن الإمكانية القصوى للاحتفاظ بالماء في التربة، أو حبس الماء في التربة بعد بدء الجريان السطحي. وهذا المعامل يصف حال التربة المشبعة تماماً بالماء بعد بدء الجريان السطحي، أي بعد توقف عملية التسرب. ويختلف سمك طبقة التربة المشبعة بالماء تبعاً لنوع التربة ومدى قدرتها على امتصاص كميات أكبر من الماء أثناء موجة المطر. وبالتالي فإن المعامل S ذو علاقة بنوع التربة وغطاءات الأرض وهو ما ينعكس من خلال قيم CNs (USDA, 1986, P 2-1).

وتدل قيم S القريبة من الصفر على تدني إمكانية التربة في الاحتفاظ بالماء على السطح بعد بدء الجريان مما يؤدي إلى ارتفاع كمية المياه الجارية على السطح، فيما يتماثل معدل احتفاظ التربة بالماء مع معدل المياه الجارية على السطح إذا بلغت قيمة S قريباً من ٢٥٤ ملم، وهي قيمة الوسيط للمعامل S وترتفع إمكانية التربة في حفظ الماء على السطح كلما زادت قيم S عن الوسيط مما يؤدي إلى انخفاض كمية الجريان السطحي.

وبالنسبة لمعاملات S المحسوبة للحوض الأعلى لوادي عرنة فقد تراوحت ما بين ٢, ٥ ملم للأجزاء الأقل قدرة على حفظ الماء على السطح، و ٢, ٢٠٧ ملم للأجزاء الأكثر قدرة على حفظ الماء على السطح، وتشير قيمة الوسيط الحسابي البالغة ٦, ٣٤ ملم إلى أن الإمكانية القصوى للحوض عموماً ضعيفة في حفظها للماء على السطح بعد بدء الجريان، كما أن جميع القيم المحسوبة لجميع الخلايا هي أقل من قيمة الوسيط للمعامل S البالغة ٢٥٤ ملم ويمكن اعتبار ذلك مؤشراً على سرعة استجابة الحوض للجريان السطحي مهما انخفض عمق العاصفة المطرية.

ويلاحظ من الشكل رقم (٢٠) توافق توزيع قيم S المنخفضة مع أكثر أجزاء الحوض صماتة والتي لا تحتوي ضمن مكوناتها على ما يسمح بحفظ الماء على السطح وبالتالي تصبح الإمكانية القصوى للسطح في حفظ الماء منخفضة مما يسمح بسرعة نشوء الجريان السطحي. فيما يتوافق توزيع قيم S المرتفعة مع أكثر أجزاء الحوض مسامية وهنا تصبح إمكانية حفظ الماء



شكل رقم (٢١) توزيع قيم المعامل (S) في الدوئى الأعلنى لوادئ عزنة .

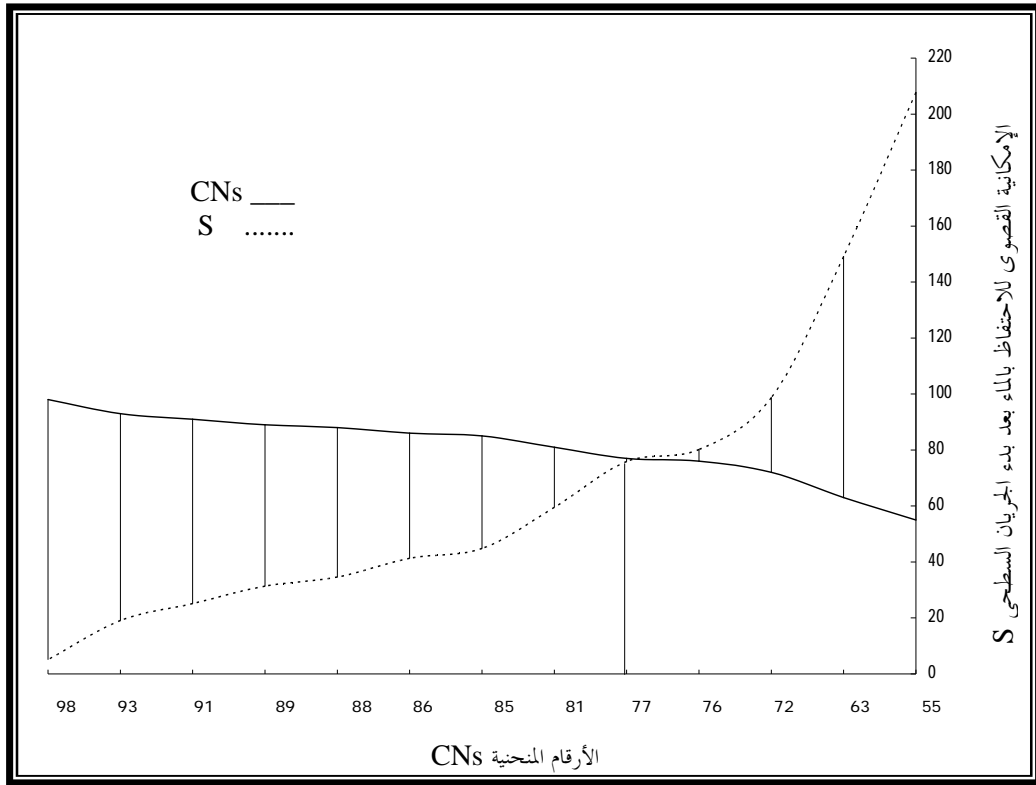
المصدر : الأبحاث.

على السطح مرتفعة مما يبطئ حدوث الجريان السطحي. أما الأجزاء التي لها مقدرة متوسطة في الاحتفاظ بالماء فهي تلك التي تقترب أو تتقاطع فيها قيم S مع CNs شكل رقم (٢١)، وبذلك وجدت علاقة سالبة عكسية قوية جداً بين CNs والمعامل S بلغت (-٠,٩٧) وهذه نتيجة منطقية حيث تضعف مقدرة الأسطح في الاحتفاظ بالماء مع زيادة صماتها.

وتعكس أدنى قيمة للمعامل S البالغة ٠,٢ ملم الإمكانية المتدنية لشبكة الطرق والمواقف الإسفلتية وأسقف المباني في حفظ الماء على أسطحها نظراً لشدة صماتها وبالتالي فإن ما سيسقط من ماء سيجري عليها مباشرة تبعاً للميول، وهنا تصبح احتمالية تجمع المياه داخل المخططات السكنية وفي مشعر عرفات عالية جداً نظراً لكثافة شبكة الطرق وكثرة الأسقف المانعة للتسرب. وتعد قيمة المعامل S البالغة ١٩,١ ملم الأكثر توزيعاً في الحوض بما نسبته ٥٦٪ حيث يتوافق توزيعها مع توزيع المرتفعات الجبلية. ويعزى ارتفاع قيمة S للجبال بالرغم من أنها ليست بتربة حقيقية إلا أن سفوحها تحتوي على طبقة من الفتات الصخري الذي يسمح إلى حد ما بارتفاع إمكانيتها في حفظ الماء. ومن الملاحظ أن خطورة الفيضان Flood hazard المتوقعة هنا لا تقتصر على ضعف حبس الماء في التربة وما ترتب عليه من صرف كمية أكبر من المياه الجارية على السطح، بل إن الخطورة تتمثل أيضاً في دور المياه المتسربة في جرف الفتات الصخري وتحريك الكتل الصخرية نحو المناسيب الأدنى بفعل الانحدار الشديد للسفوح الجبلية وتهديد سلامة التجمعات السكانية في القرى على وجه الخصوص قرى الصدر والبجدي وشرايع النخيل.

أما أعلى القيم المحسوبة للمعامل S فقد بلغت ٢٠٧,٨ ملم و ١٤٩,٢ ملم وهي تمثل الإمكانية المرتفعة للغطاء النباتي بحالته المتوسطة والجيدة في حفظ الماء على السطح بعد بدء الجريان السطحي، وتشغل كلتا الفئتين نحو ٧,٤٤ كم^٢ من مساحة الحوض بما نسبته ١,١٩٪. وتتوزع قيم S السابقة على السفوح الجبلية، وفي السهول الفيضية لأودية جدعان والبجدي، وفي سهل عرفات، وفي أقصى شمال الحوض، وقريباً من المخططات السكنية، وإن كانت أكثر تركيزاً في عرفات. إن تلك القيم العالية للمعامل S لا تسمح بتوليد جريان سطحي مرتفع لأن التربة تستطيع أن تستوعب قدرًا كبيراً من المياه وبالتالي فإن تلك الأماكن من الحوض هي أكثر

شكل رقم (٢٢) العلاقة بين CNs و S.



المصدر: الباحثة.

يلاحظ ارتفاع قيم S عند قيم CNs المنخفضة، بينما انخفضت قيم S عند ارتفاع قيم CNs ، فيما يتماثل جريان الماء إلى تسريه عند قيمة CN ٧٧.

أمناً بالنسبة لمخاطر السيول، وهذا من الناحية النظرية؛ لأن دلالة قيم S المرتفعة تُظهِر لها بمعدل عن قيم S المنخفضة المجاورة لها بالإضافة إلى تعييب عامل الانحدار. ولكن إذا ما أخذ عامل الانحدار في الحسبان وتوزيع معاملات S وفقاً لارتفاع السطح فإن مياه الجريان السطحي الناتجة عن قيم S المنخفضة ستتجه نحو المناطق الممثلة لقيم S المرتفعة الواقعة في مناسيب أقل ارتفاعاً، وبالتالي سترتفع كمية مياه الجريان السطحي المجتمعة في مناطق ذات خصائص هيدرولوجية لا تولد جريان سطحي مرتفع مما يجعلها عرضة لمخاطر السيول.

وبين الحدين المتطرفين لقيم S وقعت القيم المتوسطة البالغة ٨٠,٢١ ملم و ٧٥,٩ ملم المعبرة عن المناطق ذات القدرة المتوسطة في حفظ الماء على السطح بعد بدء الجريان السطحي. وهي تمثل مناطق التربة الجرداء عالية المسامية والنباتات الفقيرة متوسطة المسامية في شمال الحوض وشماله الشرقي وشمال وادي جدعان، وأجزاء من وادي البجدي وسهل عرفات بما مساحته ١٣٦,٦٥ كم^٢ ونسبة ٢١,٩٪ من الحوض. وفي هذه الأجزاء تقاربت قيم CNS مع قيم المعامل S، فقيم CNS المقابلة لها هي ٧٦ و ٧٧ على التوالي. ويمكن أن نستنتج من ذلك أن كمية الفاقد من الماء بالتسرب بعد بدء الجريان السطحي تعادل الكمية الجارية على السطح، لذلك لا بد من العمل على زيادة الفروق بين قيم CNS و S لتلك الأجزاء من الحوض ضمن علاقة عكسية تمنع تشكل الجريان السطحي، كالتوسع في استزراع الأشجار أو عمل مستجمعات مائية صغيرة تعيق حركة المياه وتزيد من فرص التسرب. أما ما تبقى من قيم المعامل S المحسوبة لحوض وادي عرنة الأعلى فقد تراوحت بين ٢٥,١٢ و ٩٨,٧٧ ملم وهي جميعاً قيم منخفضة تساعد على توليد جريان سطحي مرتفع نسبياً وتشغل من الحوض ما نسبته ١٧,٤٩٪.

وبناءً على التوزيع الجغرافي السابق لقيم المعامل S في الحوض تبين أن أجزاء واسعة من الحوض تقدر بما نسبته ٥٨٪ من مساحته قادرة توليد جريان سطحي مرتفع نظراً لانخفاض قدرتها على حفظ الماء في التربة بعد بدء الجريان السطحي.

وبالنسبة لقيم S المحسوبة للأحواض الجزئية (جدول رقم ٩) فقد تراوحت بين ٢٢ ملم في الحوض رقم (٢٣) و ٧١,٦ ملم في الأحواض (١٤، ١٦، ٢٠) وبمقارنة معاملات S للأحواض الجزئية بقيمة الوسط الحسابي للحوض البالغة ٣٤,٦ ملم وجد أن تسعة أحواض تقل

جدول رقم (٩) قيم المعاملين S و Ia للأحواض الجزئية

المساحة كم ^٢	قيم Ia	قيم S	الحوض الجزئي
٢١٣,٥٥٩٢	٥	٢٥,١	١
١٠٧,٥٨٦	٦,٣	٣١,٤	٢
٧٥,٤٦٥٩	٨,٣	٤١,٣	٣
٢٣,٣٢٨	١٠,٤	٥٢	٤
١٢,٨١٤٢	٦,٩	٣٤,٦	٥
٢٠,٠٧٣٦	٦,٣	٣١,٤	٦
١٣,٣٧٤	٧,٦	٣٧,٩	٧
٢١,٠٣٩٣	٦,٩	٣٤,٦	٨
١٧,٥٤١	٦,٣	٣١,٤	٩
٣٠,٦٤٥٩	٦,٣	٣١,٤	١٠
١,٧٩٩١	١٠,٤	٥٢	١١
١,٩١٠٧	٨,٣	٤١,٣	١٢
١,٢٥٣٧	٥,٦	٢٨,٢	١٣
٠,٧٨٤٨	١٤,٣	٧١,٦	١٤
٣,٨١٤٢	٨,٩	٤٤,٨	١٥
٣,٧١٤٣	١٤,٣	٧١,٦	١٦
٢,٣٤٥٤	٦,٦	٣٧,٩	١٧
٤,٩٦٤٤	٨,٣	٤١,٣	١٨
٦,١٥٣٣	٥,٦	٢٨,٢	١٩
١,١٤٣	١٤,٣	٧١,٦	٢٠
٦,٩٣٩٩	١١,١	٥٥,٦	٢١
٧,٢٢٠٧	١١,١	٥٥,٦	٢٢
٣,٣٠٣٩	٤,٤	٢٢	٢٣
٢,٨٢٣٣	٥	٢٥,١	٢٤
٤٠,٢٩٩٣	١٠,٤	٥٢	٢٥
٦٢٣,٨٩٧١	٦,٩	٣٤,٦	مجمّل الحوض

المصدر: الباحثة بالاعتماد على الشكلين (٢٠ و ٢٢).

فيها قيمة S عن المعدل العام للحوض وهي: (١ ، ٢ ، ٦ ، ٩ ، ١٠ ، ١٣ ، ١٩ ، ٢٣ ، ٢٤) فهذه الأحواض قدرتها على حبس الماء في التربة أدنى من المعدل العام للحوض، فيما ارتفعت مقدرة ١٤ حوض جزئي وهي: (٣ ، ٤ ، ٧ ، ١١ ، ١٢ ، ١٤ ، ١٥ ، ١٦ ، ١٧ ، ١٨ ، ٢٠ ، ٢١ ، ٢٢ ، ٢٥) على حبس الماء في التربة عن المعدل العام للحوض ، بينما تساوت قدرة الحوضين (٥ و ٨) في حبس الماء مع معدل الحوض. ومما سبق يتبين انخفاض معدلات احتفاظ الماء في التربة لعموم الحوض وأحواضه الجزئية فهي جميعها أقل من ثلث قيمة الوسيط لمعامل S الذي يبلغ ٢٥٤ ملم.

رابعاً: حساب معامل الاستخلاص الأولي في الحوض الأعلى لوادي عرنة

يعكس معامل الاستخلاص الأولي (Ia) مقدار الفاقد من مياه الأمطار قبل بدء الجريان السطحي عن طريق التبخر، أو ما تعترضه النباتات من مياه الأمطار، أو المياه المتجمعة في المنخفضات السطحية، أو عن طريق التسرب (USDA, 1986, P, 2-1)، والاستخلاص الأولي هو أحد العناصر الهامة في حساب المعادلة رقم (١) الخاصة بتقدير كمية الجريان السطحي ولا يمكن للمعادلة أن تتم بدونها، وهو ذو علاقة بالتربة وغطاءات الأرض عن طريق المعامل S، والاستخلاص الأولي هو عبارة عن خمس قيمة S. ويستدل من القيم المنخفضة للاستخلاص الأولي والتي تقترب قيمها من الصفر على قلة الفاقد من مياه الأمطار قبل بدء الجريان السطحي مما يساعد على سرعة تولد الجريان السطحي، بينما يصبح معدل الاستخلاص الأولي مساوياً لمعدل المياه الجارية على السطح إذا بلغت قيمة الوسيط للمعامل Ia ٥٠,٨ ملم، وإذا ما ارتفعت قيمة Ia عن قيمة الوسيط للاستخلاص الأولي دل ذلك على فقد كميات أعلى من الأمطار وبالتالي تنخفض كمية المياه الجارية على السطح.

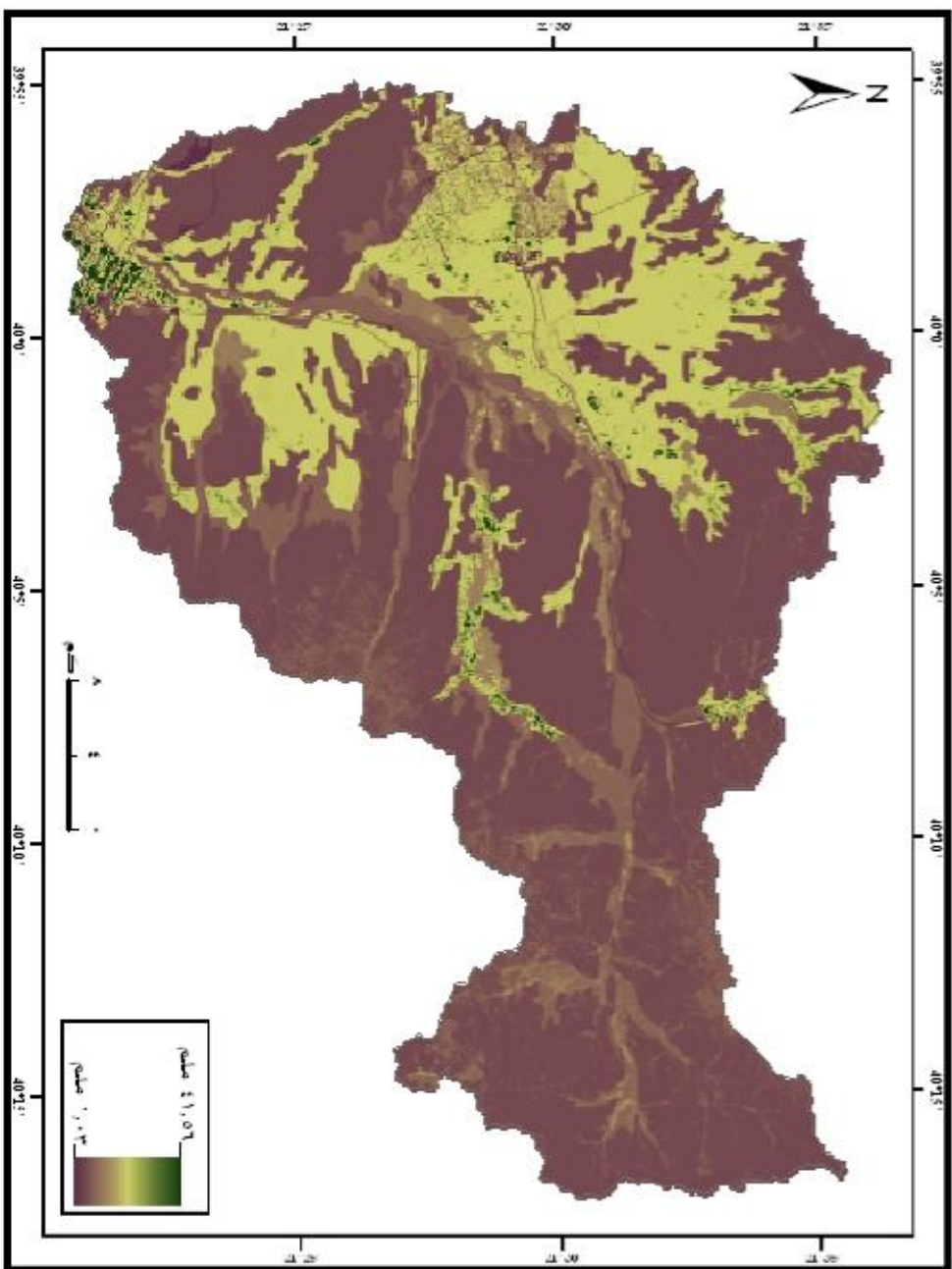
وأمكن حساب المعامل Ia لكل خلية في الحوض وللأحواض الجزئية ولجمل الحوض بواسطة برنامج ArcGIS من خلال Raster Calculator ضمن قائمة المحلل المكاني Spatial Analyst. حيث تراوحت قيم المعامل بين ١ ملم لأقل فقد أولي لمياه الأمطار، و ٤١,٦ ملم لأعلى فقد أولي لمياه الأمطار، بينما بلغت قيمة الوسيط الحسابي للحوض ٧ ملم، وجميع قيم Ia

المحسوبة هي أقل من قيمة الوسيط البالغة ٥٠,٨ ملم مما يدل على انخفاض الاستخلاص الأولي لعموم الحوض وبالتالي تولد كميات أعلى من الجريان السطحي. كما أن هذه النتيجة تؤكد النتائج السابقة في حساب المعامل S وحساب CN التي أشارت إلى ضعف إمكانية الحوض الطبيعية في استيعاب كميات أعلى من مياه الجريان السطحي مما يجعله عرضة للمخاطر السيلية.

ويتضح من الشكل رقم (٢٢) توزيع قيم Ia في أجزاء الحوض. فأدنى القيم تمثلت في الأجزاء الأقل مسامية، حيث بلغت قيمة Ia في المرتفعات الجبلية ٣,٨ ملم بما نسبته ٥٦ ٪ من مساحة الحوض، في حين انخفضت قيمة Ia إلى ١ ملم في المنشآت المدنية؛ ويرجع تباين قيم Ia بين الجبال والمنشآت المدنية بالرغم من أنها أسطح عالية الصماتة إلى أن المرتفعات الجبلية وإن كانت أسطح غير منفذة إلا أنها تحتوي على مستوعبات كمنخفضات صغيرة وشقوق تسمح بتجمع المياه وهو ما لا يوجد في الطرق وأسقف المباني وبالتالي أصبحت المرتفعات الجبلية ذات قدرة أعلى في استيعاب كميات أعلى من مياه الأمطار مقارنة بالمنشآت المدنية قبل بدء الجريان السطحي. وعلى النقيض مما سبق فيلاحظ من الشكل السابق ارتفاع قيم Ia في مناطق الترب الجرداء بين ٨,٣ ملم و ١٥,٢ ملم في شمال الحوض وأقصى شماله الغربي، وجنوب شرائع المجاهدين، وفي المغمس، ومنطقة الخاسرة في أدنى الحوض بما نسبته ٢١,٥ ٪ من مساحة الحوض، وتتصف تلك الترب بأنها هشة تسمح بتسرب الماء إلى داخلها، بالإضافة لانعدام التغطية النباتية في كثير من أجزائها مما يسمح بزيادة معدلات التبخر. أما الإرسابات الرباعية فقد ارتفعت فيها قيم Ia إلى ١٦,٤ وهي ترب خشنة ضحلة العمق تسمح بتسرب مياه الأمطار إلى داخلها وبالتالي تقلل من تشكل الجريان السطحي، وقد شغلت تلك القيم ما نسبته ٥,٣ ٪ من الحوض.

أما أعلى قيم Ia فتتراوح بين ١٩,٨ و ٤١,٦ وتمثل في مناطق تجمع النبات الطبيعي في أقصى شمال الحوض في وادي مدرجة، وبالقرب من المخططات السكنية، وكذلك تمثلت قيم Ia المرتفعة في المناطق الزراعية في وادي البجدي وفي أدنى مجرى الحوض حيث تشغل تلك القيم ٧,٥ كم^٢ من مساحة الحوض، وهذه نتيجة متوقعة بالنظر إلى هيدرولوجية المناطق الزراعية والتجمعات النباتية.

شكل رقم (٢٣) توزيع قيم المعامل (α) في الحوض الأعلى لوادي عرنة .



المصدر : الباحثة.

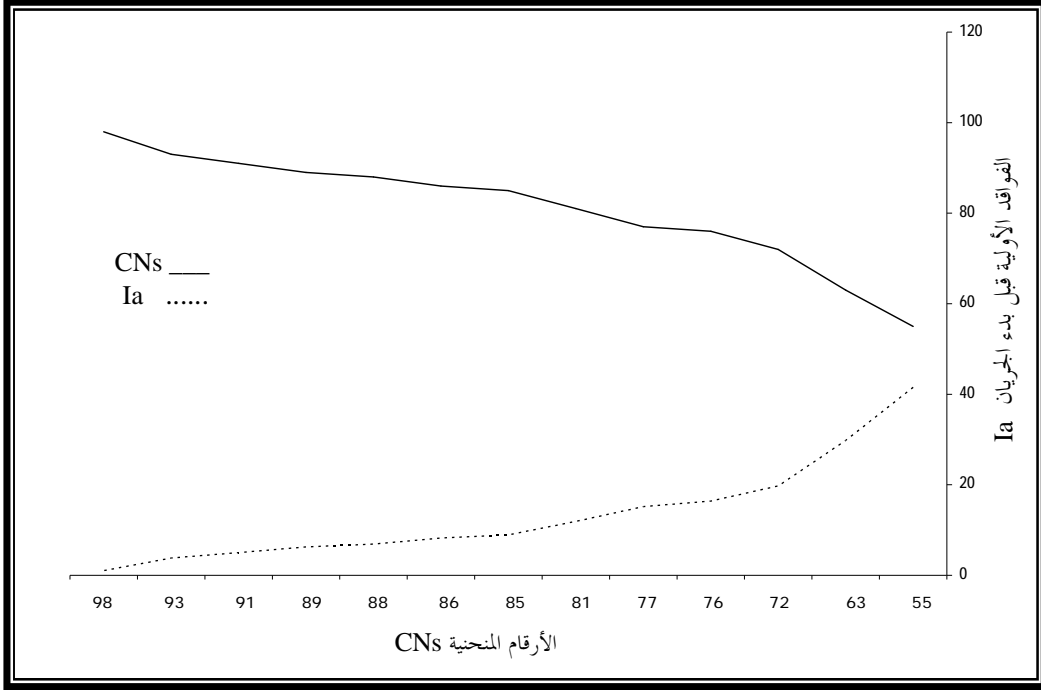
أظهر معمل ارتباط بيرسون وجود علاقة عكسية سالبة قوية بين Ia و CNs بلغت (٠,٩٨ -) شكل رقم (٢٣) مما يدل على أنه مع زيادة الاصمات تنخفض قيم الاستخلاص الأولي قبل بدء الجريان السطحي فمع زيادة الاصمات تنخفض معدلات التسرب وتقل المنخفضات السطحية التي تسمح بتجمع المياه داخلها وتضعف التغطية النباتية مما يؤثر على عملية البحر نتح وبالتالي توليد جريان سطحي مرتفع، ويحدث العكس من ذلك إذا ما انخفضت صماتة الأسطح فعندها ترتفع قيم الاستخلاص الأولي قبل بدء الجريان السطحي وينتج عن ذلك انخفاض معدلات الجريان السطحي.

وفي المقابل فإنه تكونت علاقة طردية موجبة قوية جداً بين Ia و S (٠,٩٩) كما يتضح ذلك من شكل رقم (٢٤). وهذا يعني أنه كلما زادت معدلات الاستخلاص الأولي قبل بدء الجريان السطحي أصبحت إمكانية السطح أعلى في الاحتفاظ بالماء ، ويحدث العكس من ذلك فإذا ما انخفضت معدلات الاستخلاص الأولي قبل بدء الجريان السطحي تصبح إمكانية السطح في الاحتفاظ بالماء ضعيفة وبالتالي ترتفع معدلات الجريان السطحي.

وبالنظر في قيم Ia المحسوبة للأحواض الجزئية فإنه يتبين من الجدول رقم (٩) أن جميع قيم Ia لا تزيد عن قيمة الوسيط للاستخلاص الأولي (٥٠,٨ ملم). وأدنى القيم المحسوبة للمعامل Ia بلغت ٤,٤ ملم في الحوض رقم (٢٣)، و ٥ ملم لحوض الشرائع (الحوض رقم ١) ونفس القيمة في الحوض رقم (٢٤)، أي أن أقل فاقد أولي لمياه الأمطار قبل بدء الجريان السطحي يحدث في تلك الأحواض، وبالتالي فإن لها أعلى إسهام في توليد الجريان السطحي من بين جميع الأحواض الجزئية، وعلى ذلك فيمكن اعتبارها أهم الأحواض المغذية لقناة الحوض الرئيسة ولعل أهمها على الإطلاق حوض الشرائع الذي يعتبر أكبر الأحواض الجزئية من حيث المساحة.

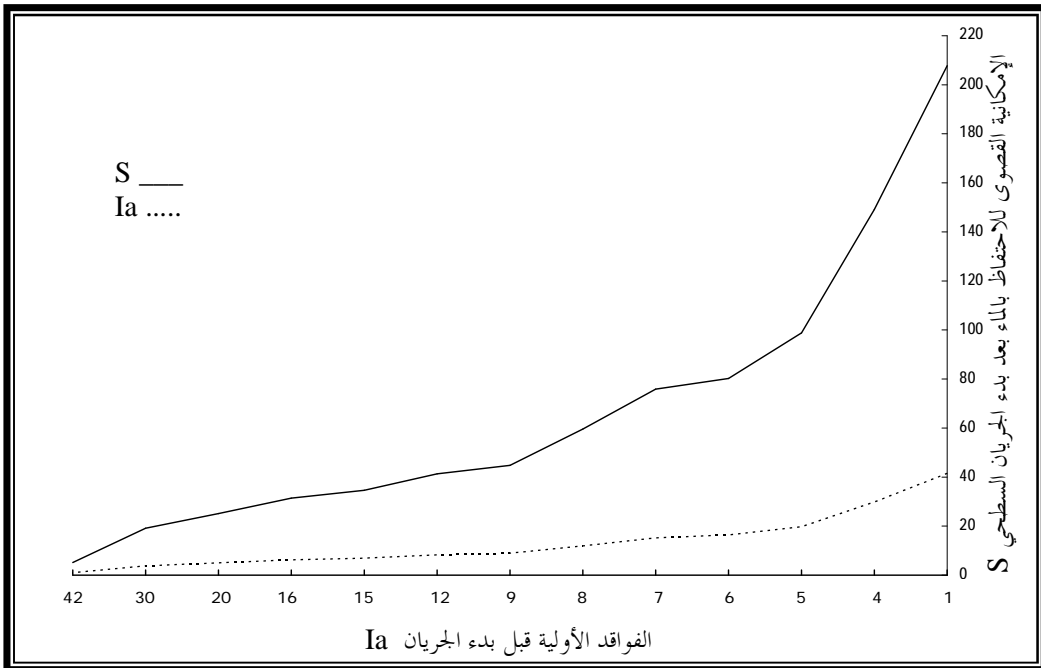
أما أعلى استخلاص أولي محسوب في الأحواض الجزئية فبلغ ١٤,٣ ملم للأحواض (١٤ و ١٦ و ٢٠) ومن الملاحظ من الجدول السابق (جدول رقم ٩) أن جميع تلك الأحواض صغيرة المساحة إذ لا تزيد مساحة أكبرها (الحوض رقم ١٦) عن ٤ كم^٢، وبالتالي فإنه لا تأثير يذكر لهذه الأحواض في تقليل حجم المخاطر السيلية بالنسبة للحوض ككل حيث

شكل رقم (٢٤) العلاقة بين CNs و Ia .



المصدر: الباحثة.

شكل رقم (٢٥) العلاقة بين S و Ia .



المصدر: الباحثة.

أن أثرها الايجابي سيقترصر على مساحتها الحوضية.

وفيما يختص بالأحواض التي تجاوزت فيها قيم Ia قيمة الوسط الحسابي للحوض البالغة ٦,٩ ملم فقد تراوحت فيها قيم Ia بين ١٠,٤ و ١١,١ ملم وهي خمسة أحواض، (٤ و ١١ و ٢١ و ٢٢ و ٢٥) وتقع جميع تلك الأحواض في غرب الحوض باستثناء الحوض رقم (٢٥)، الذي يمثل الجرى الرئيسي للحوض الأعلى لوادي عرنة. وتعتبر هذه الأحواض من الأحواض الهامة في الحوض فهي تقع ضمن المناطق السكنية، والمناطق الحيوية خاصة حوض رقم (٢٥) الذي يخترقه طريق المغمس ويقع ضمنه مدرج الطائرات كما أنه يشغل معظم منطقة عرفات وهي من أهم المناطق في الحوض. إن قيم Ia المحسوبة لهذه الأحواض وإن كانت أعلى من الوسط الحسابي للحوض إلا أنها لا تعبر عن أوضاع هيدرولوجية مطمئنة؛ لأنها أقل من القيمة الوسيط للاستخلاص الأولية البالغة ٥٠,٨ ملم.

وبالنسبة لقيم Ia للأحواض الجزئية المساوية للمعدل العام للحوض فتمثلت في الوادي رقم (٥) ووادي كبكب (الوادي رقم ٨) ولا يعني تساوي قيم Ia للحوضين مع قيمة المعدل العام للحوض أن لهما تأثير ايجابي في التقليل من الجريان السطحي بل إن في تساوي القيم ما يدل على ضعف الاستخلاص الأولي للحوض قبل بدء الجريان السطحي وبالتالي فإن احتمالات الخطر السيلي في الحوض قائمة. وفي المقبل فإن بقية الأحواض وهي (٢ و ٣ و ٦ و ٧ و ٩ و ١٠ و ١٢ و ١٣ و ١٥ و ١٨ و ١٩) فتتراوح فيها قيم Ia بين ٥,٦ و ٨,٩ ملم وهي قيم منخفضة تساعد في سرعة توليد الجريان السطحي.

ومن هنا نستطيع القول بأن النظر في قيم Ia المحسوبة للحوض ككل أو للأحواض الجزئية يدلنا على أن هنالك خمسة أحواض تنشئ جريانا سطحياً عالياً بما نسبته ٧٢٪ من إجمالي مساحة الحوض، وهي الأحواض (١ و ٢ و ٦ و ٩ و ١٠) مع أن هنالك أحواضاً تولد جريانا أعلى ولكنها صغيرة المساحة، خفيفة التأثير.

خامساً: تقدير الجريان السطحي في الحوض الأعلى لوادي عرنة

يعبر عمق الجريان السطحي Runoff Depth عن خلاصة تفاعل موجة مطر معينة مع مكونات وخصائص حوض التصريف. فمع اختلاف نوع الغطاء ومقدار صماته يختلف عمق الجريان المتشكل على سطحه. وفي هذه الحالة ومع ثبات موجة المطر على كامل الحوض فإن الأرقام المنحنية هي العنصر المتغير والمتحكم في تباين عمق الجريان السطحي بين أجزاء الحوض.

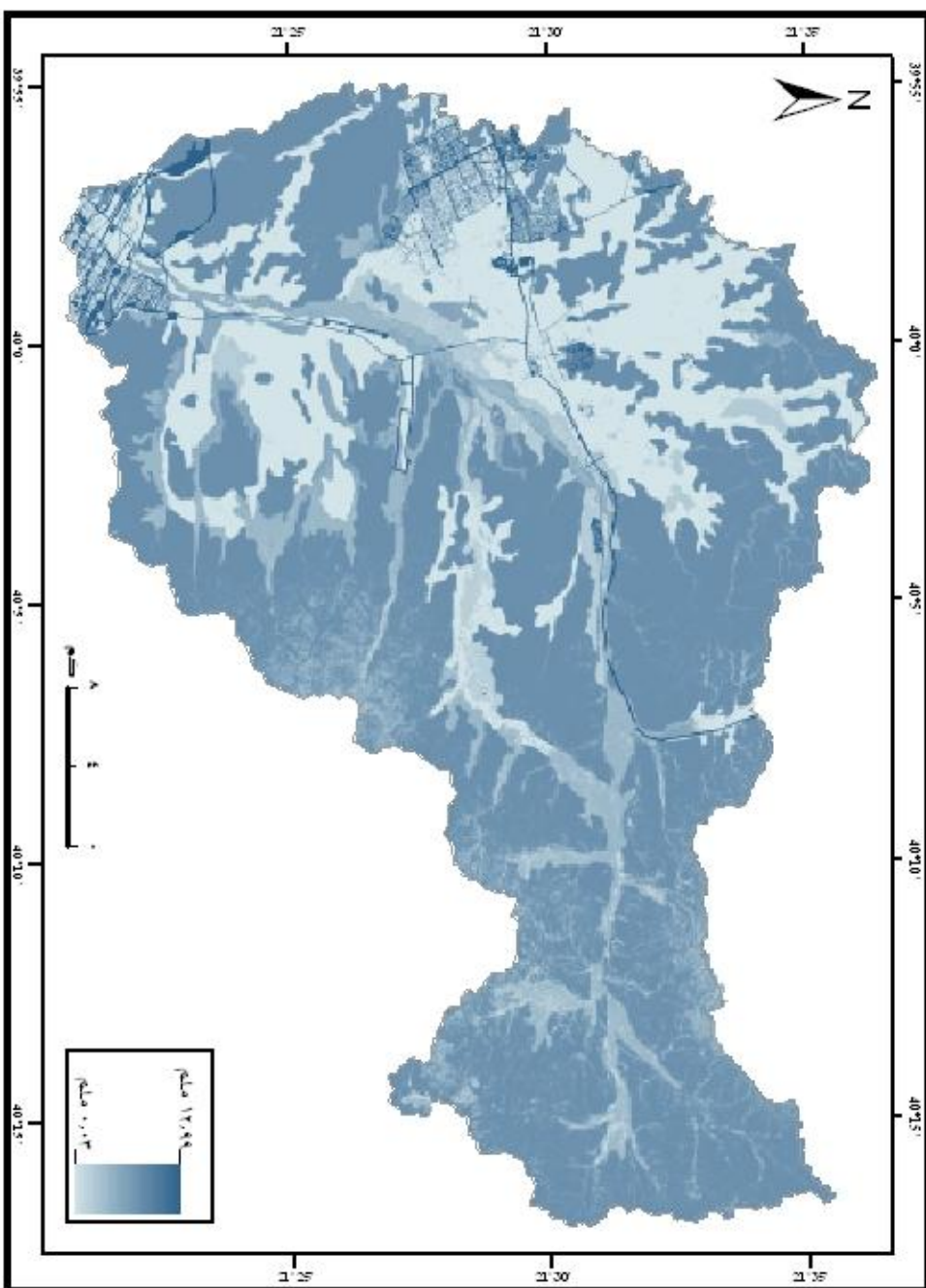
وفي هذه الدراسة تم تقدير عمق الجريان السطحي Q لحوض وادي عرنة بناءً على عاصفتي مطر مختارتين من واقع سجلات المطر اليومي لمحطة الفرين الواقعة بالقرب من الحوض ولفترة رجوع مشاهدة بلغت ٣٩ سنة. وتمثل عاصفة المطر الأولى متوسط الأيام المطيرة التي قدرت بنحو ١٨ ملم خلال ٢٤ ساعة باعتبارها عاصفة مطر اعتيادية. أما عاصفة المطر الثانية فتمثل أعلى حدث مطري يومي خلال فترة التسجيل، حيث بلغت كمية الأمطار خلال ٢٤ ساعة ١٩١ ملم في ١٩٩٨/٣/٧ م. وللحصول أيضاً على تصور عام للجريان السطحي في الحوض الأعلى لوادي عرنة فقد تم تقدير عمق الجريان السطحي السنوي بناءً على المتوسط السنوي للأمطار الساقطة على الحوض.

وقد أمكن حساب الجريان السطحي في الحوض الأعلى من وادي عرنة باستخدام الحاسبة الخلوية Raster Calculator ضمن قائمة المحلل المكاني Spatial Analyst في بيئة ArcGIS حيث حسب عمق الجريان السطحي لكل خلية في الحوض، كما حسب بناءً على الأحواض الجزئية وللحوض ككل. أما مجموع الجريان السطحي فيتم الحصول تلقائياً من نافذة المعلومات الإحصائية الخاصة بالطبقة.

أ- تقدير عمق الجريان السطحي من عاصفة مطر ١٨م:

يعبر عمق الجريان السطحي عن مقدار المياه الجارية على السطح من عاصفة مطرية معينة بغض النظر عن المساحة التجميعية للحوض وهو بذلك يختلف عن حجم الجريان السطحي الذي سيرد تقديره لاحقاً. ويوضح الشكل (٢٥) عمق الجريان السطحي المتشكل في الحوض الأعلى لوادي عرنة من مطر ١٨ ملم، حيث بلغ معدل عمق الجريان السطحي في عموم الحوض

شكل رقم (٢٦) التوزيع المكاني لقيم الجريان السطحي الناشئة عن مطر ١٨ ملم في الحوض الأعلى لوادي عربة.



المصدر: الباحث

٤,٣٠ ملم، أي أن ما يقارب من ربع كمية المطر الساقط على الحوض ينصرف على هيئة جريان سطحي، وبذلك يمكن القول أن الجريان الناشئ من مطر ١٨ ملم يعد متوسطاً وفقاً لقيمة Q السابقة. غير أن تباين قيم CNs بين أجزاء الحوض أنتج تفاوتاً في قيم Q، حيث تراوحت قيم Q بين أقل من مليمتر في شمال غرب الحوض وجنوبه حيث المناطق المفتوحة التي تسمح وبدخول الماء إلى التربة إلى ما يزيد عن ١٢ ملم في مظاهر التعمير البشري في الحوض، وهذه قيمة مرتفعة جداً تقل بفارق خمسة مليمترات فقط عن المطر الساقط، فما نسبته ٧٢٪ من المطر الذي استقبلته جميع المنشآت الحضرية في الحوض يجري على أسطح المباني وفي الشوارع وبين الوحدات السكنية مشكلاً تجمعات مائية خاصة وسط الأحياء التي تعاني من ضعف تصريف مياه السيول. كما وجد أن ما نسبته ٣٩,٢٪ فقط من مساحة الحوض يقل فيه عمق الجريان عن المعدل، أي أن نحو ٦٠٪ من الحوض قادر على توليد كميات عالية من المياه تفوق المعدل وهي بذلك تشكل خطراً سيلياً على الحوض إلا إذا أمكن الاستفادة منها وجمعها عن طريق مصائد المياه ومن ثم استثمارها في تغذية المخزون الجوفي أو زيادة الغطاء النباتي خاصة وأن هناك مساحات واسعة جداً من الحوض غير مستغلة وغير واقعة ضمن خطط التوسع العمراني.

وبالنظر إلى قيم الجريان السطحي الناشئ في الحوض الأعلى لوادي عرنة من مطر ١٨ مم، ومقارنة إسهام قيم CNs في توليد الجريان السطحي بما تشغله من مساحة الحوض كما هو مبين في الجدول رقم (٩)، فإننا نجد أن جميع قيم CNs التي تقل عن ٨٦ لا يزيد إسهام أي منها عن ١٪ من مجموع الجريان السطحي في الحوض. فيما استأثرت قيمة CN البالغة ٩٣ والمثلة للمرتفعات الجبلية في الحوض بأعلى حصة إسهام قدرت فيما مجموعه ٢١٠٧٣ مم من مياه الجريان السطحي أي بنسبته ٨٠٪ من مجموع الجريان السطحي في الحوض البالغ ٢٦٢١٩,٢ مم، بالتالي فإن تلك القيمة هي المصدر الرئيس المغذي للجريان السطحي في الحوض، وهذا متوقع بالنظر إلى ما تم إيضاحه من قبل، حيث تتمثل قيمة ٩٣ في المرتفعات الجبلية ذات الصخور المصمتة، كما أنها تشغل أكثر من نصف مساحة الحوض، وعلى هذا فإن أي إجراءات تحكم Control measures لحماية الحوض في وسطه وأدناه يجب أن تبدأ من تلك المناطق ذات التوليد العالي للجريان السطحي والذي قد يتحول إلى فيضانات، خاصة في الوادي رقم ٢٥، ووادي المغمس والمخططات السكنية، خاصة الجنوبية منها.

جدول رقم (١٠) عمق الجريان السطحي ومجموع الجريان الناشئ عن عاصفة مطر ١٨ ملم حسب قيم
CNS في الحوض الأعلى لوادي عرنة.

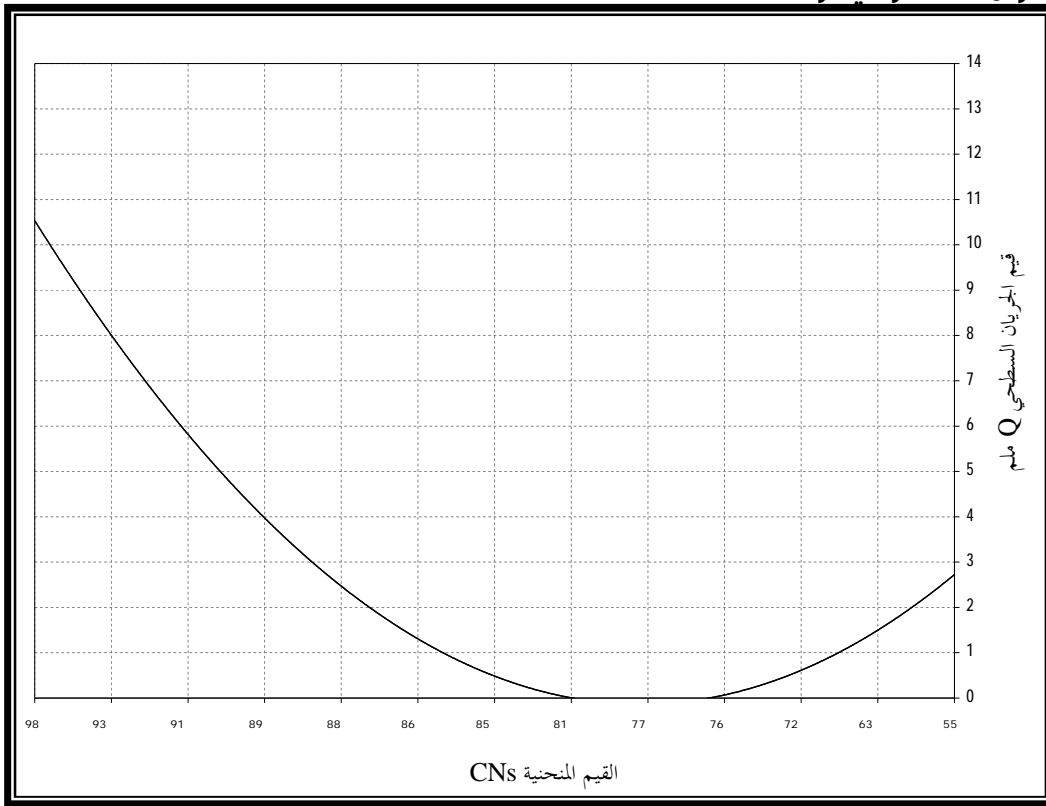
المساحة %	المساحة كم ^٢	مجموع الجريان السطحي %	مجموع الجريان السطحي م	عمق الجريان %	عمق الجريان السطحي مم	CNs
٠,٤٧	٢,٩٧٧٥	٠,٣	٨٩	١٦,٧	٣	٥٥
٠,٧	٤,٤٦٢٣	٠,٢	٤٥	٥,٦	١	٦٣
٠,٠٩	٠,٥٧٩	٠,٠	٠,٢	٠,٢	٠,٠٣	٧٢
٥,٣	٣٣,٢٧٤٤	٠,١	١٧	٠,٣	٠,٠٥	٧٦
١٦,٥	١٠٣,٣٧٢٢	٠,٤	١٠٣	٠,٦	٠,١	٧٧
٠,٣	٢,٠٤٣٩	٠,١	١٢	٣,٣	٠,٦	٨١
٢,٠	١٣,٠٣١٨	٠,٧	١٩٦	٨,٣	١,٥	٨٥
٢,٥	١٥,٩٤٦١	١,٢	٣٠٣	١٠,٦	١,٩	٨٦
٤,٦	٢٩,٢٣٢٦	٣	٧٨٩	١٥	٢,٧	٨٨
٦,٣	٣٩,٣٦	٥	١٢٦٠	١٧,٨	٣,٢	٨٩
٢,٤	١٥,٢٧٠٨	٢,٦	٦٧٢	٢٤,٤	٤,٤	٩١
٥٦,٢	٣٥١,٢٢١٧	٨٠	٢١٠٧٣	٣٣,٣	٦	٩٣
٢,١	١٣,١٢٤٨	٦,٤	١٦٩٣	٧١,٧	١٢,٩	٩٨
١٠٠	٦٢٣,٨٩٧١	١٠٠	٢٦٢٥٢	٢٣,٩	٤,٣	الحوض

المصدر: الباحثة بالاعتماد على الشكل رقم (٢٥).

أما أشد أجزاء الحوض صماتة والمعبر عنها بقيمة CN البالغة ٩٨ فقد أسهمت بصورة ملحوظة في توليد جريان سطحي مرتفع بنسبة ٦٪ من مجموع الجريان في الحوض بالرغم من صغر ما تشغله من مساحة الحوض التي لا تتجاوز ٢٪ . ومن الملاحظ أن القيمتين ٩٣ و ٩٨ تشغلان جميع النطاق الجبلي المحيط بالحوض، وجميع المنشآت الحضرية فيه وبالتالي سيصبح وسط الحوض وغربه تقريباً أشبه بوعاء يستقبل المياه المتدفقة من جميع الاتجاهات، بالإضافة إلى ما تنضح به الأحياء السكنية من مياه الجريان السطحي في ظل ضعف وسائل تصريف السيول.

وتمتابة منحني عمق الجريان المتشكل في الحوض الأعلى لوادي عرنة (شكل رقم ٢٦) يلاحظ ارتفاع قيم Q مع ارتفاع قيم CNs، وهذه علاقة مفهومة لأنه مع زيادة الاصمات تصبح إمكانية تشكل الجريان السطحي أعلى. إلا أنه لوحظ شذوذ في تلك العلاقة، ففي حين كان من المتوقع أن ينشأ أقل عمق للجريان عن أقل قيمة CN في الحوض، إلا أنه وجد أن أقل عمق للجريان البالغ (٠,٠٣ ملم) نشأ عن قيمة CN البالغة ٧٢ وبالرجوع إلى ما تمثله تلك القيمة، وجد أنها تختص بغطاء نباتي ذي حالة هيدرولوجية متوسطة واقع ضمن الفئة الهيدرولوجية B، وهذه التربة تتسم بخصونة نسيجها المتكون من الحصى والفتات الصخري، وبالتالي فهي قادرة على استيعاب كميات أعلى من مياه الأمطار. هذا الشذوذ في منحني العلاقة كان له أثر مباشر في خلق علاقة متوسطة بين Q و CNs حيث بلغ معامل الارتباط (٠,٥٦). ونتيجة للعلاقة السابقة وجدت علاقة عكسية سالبة متوسطة بين Q و S من ناحية، وبين Q و Ia من ناحية أخرى بلغت (-٠,٤٤)، وبالنسبة للعلاقة بين Q و S فإنه كلما ارتفعت إمكانية السطح على حفظ الماء في التربة يقابلها انخفاض في كمية المياه الجارية على السطح، كما أن العلاقة بين Q و Ia توضح تأثير كمية الجريان السطحي بالاستخلاص الأولي، حيث يقابل زيادة معدلات الاستخلاص الأولي قبل بدء الجريان انخفاض في كمية الجريان السطحي. وهنا يظهر تأثير قيم Q الشاذة في إضعاف قوة العلاقات السابقة الموجبة الطردية، والسالبة العكسية بين الجريان السطحي والمعاملات التي تعبر عن الأوضاع الهيدرولوجية في الحوض في الوقت الذي كان فيه من المتوقع أن تكون تلك العلاقة قوية بين المتغيرات، ومن هنا تحاول الباحثة في الجزء التالي أن تفسر تلك العلاقة بتحديد عتبة واضحة مفهومة للجريان السطحي في الحوض.

شكل رقم (٢٧) العلاقة بين القيم المنحنية والجريان السطحي عن عاصفة مطر ١٨ ملم في الحوض الأعلى لوادي عرنة .



المصدر: الباحثة.

تحديد عتبة الجريان السطحي:

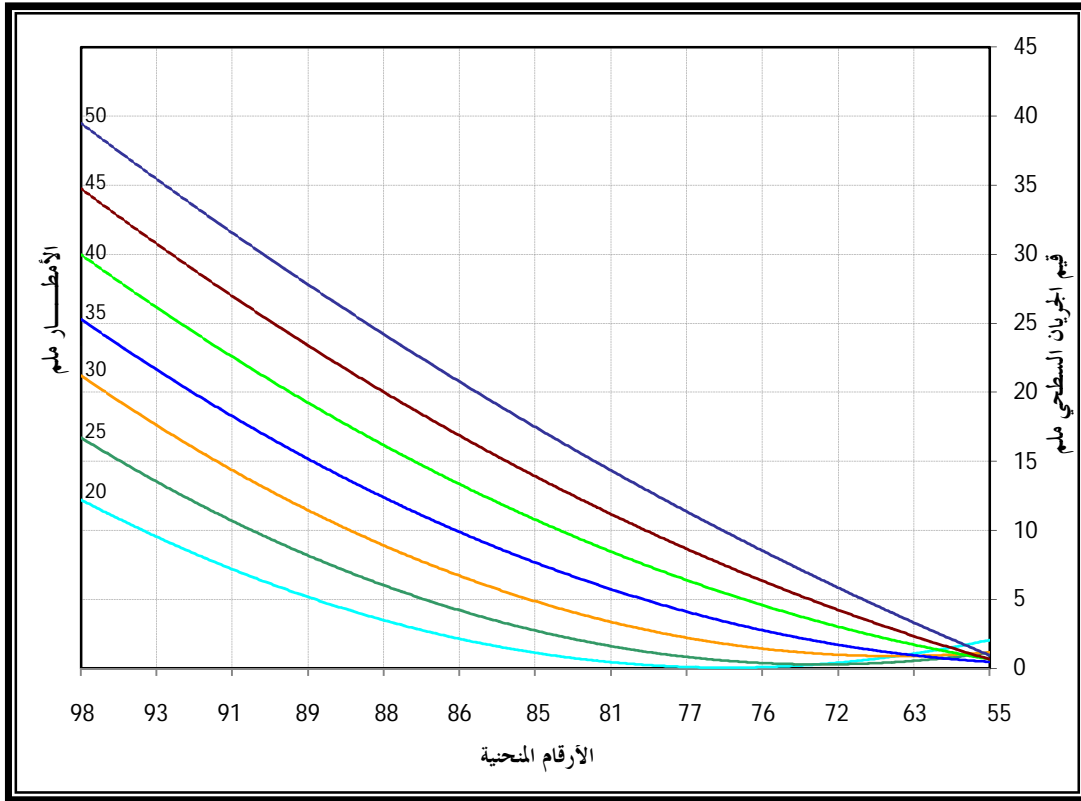
إن الهدف من تحديد عتبة الجريان السطحي Runoff Threshold هو محاولة إيجاد تفسير للشذوذ الذي شوهد في منحنى العلاقة بين CN و Q. وحيث أن المطر هو العنصر الرئيس في حدوث الجريان السطحي، وبالتالي هو مؤشر مهم في تحديد تلك العتبة. وعتبة الجريان السطحي هي القيمة المطرية التي عندها تنتظم العلاقة وتصبح قوية بين CN و Q ، وابتداءً منها إلى ما يدونها تختل تلك العلاقة وتضعف قوتها. وكما هو معلوم فإنه يقابل زيادة الاصمات ارتفاع في عمق الجريان السطحي نظراً لانخفاض معدلات التسرب، وبالتالي فإن العلاقة التي تربط بين CN و Q هي في الأصل علاقة طردية موجبة قوية، فحيثما ترتفع قيمة CN يقابلها ارتفاع في قيمة Q، وحيثما تنخفض قيمة CN يصاحبها انخفاض في قيمة Q. وهو المقصود بانتظام العلاقة بين CN و Q، وعكس ذلك هو ما قصد به شذوذ العلاقة وعدم انتظامها.

ومن أجل تحديد عتبة الجريان السطحي للحوض الأعلى لوادي عرنة فقد تم حساب الجريان السطحي بافتراض سبعة عواصف مطرية بمدى يبلغ خمسة مليمترات ابتداءً من ٢٠ ملم وحتى ٥٠ ملم (شكل رقم ٢٧)، وكانت النتائج كالتالي:

- يلاحظ أن قيم Q الناتجة عن العواصف المطرية الأربعة الأولى (٢٠ ، ٢٥ ، ٣٠ ، ٣٥ ملم) اعترها اضطراب في العلاقة بينها وبين قيم CN صعوداً وهبوطاً، حيث بلغت معاملات الارتباط على التوالي (٠,٧٦ ، ٠,٨٧ ، ٠,٨٣ ، ٠,٧٨) وجميعها علاقات طردية موجبة قوية نسبياً.
- أن القيم المطرية ابتداءً من ٤٠ إلى ٥٠ ملم اتسمت العلاقة فيها بين CN و Q بأنها قوية موجبة تراوحت بين (٠,٩١ و ٠,٩٥) ويلاحظ من الشكل السابق انتظام العلاقة بين المتغيرين بعد موجة مطر ٤٠ ملم، وبذلك يمكن تحديد عتبة عمق الجريان السطحي لحوض وادي عرنة بأنها القيمة المطرية ٤٠ مم ، حيث أنه ابتداءً من هذه القيمة تنتظم العلاقة بين CN و Q.

ومراجعة مدخلات النموذج الرياضي لحساب الجريان السطحي Q بغية معرفة كيفية تأثير قيمة المطر P على العلاقة بين CN و Q وجد أنه إذا كانت قيمة المطر P أكبر أو تساوي (0.2S)

شكل رقم (٢٨) تحديد عتبة عمق الجريان السطحي للحوض الأعلى لوادي عرنة.



المصدر: الباحثة.

أي أن ($P \geq 0.2S$)، فإن العلاقة بين CN و Q تصبح منتظمة خالية من أي شذوذ. أما إذا كانت قيمة المطر أقل من ($0.2S$) أي أن ($P < 0.2S$) فإن العلاقة بين CN و Q يعترتها خلل يؤثر على نتيجة تقدير الجريان السطحي.

ومما سبق يمكن القول بأن أهمية الكشف عن عتبة عمق الجريان السطحي تعود إلى أن هنالك افتراضات أولية مسلم بنتائجها تتمثل في اتجاه العلاقة وقوتها بين CN و Q ، ففي حال ظهور نتائج تخالفها كلياً أو جزئياً فسيصبح لدينا نتائج مضللة لا يمكن الجزم بصحتها فضلاً عن الأخذ بها، فقد تكون معبرة عن الواقع وقد لا تكون معبرة عنه. ومما يحدد حقيقتها هو إجراء قياس حقل أثناء حدوث عاصفة مطرية أقل من ٤٠ ملم لمعرفة عمق الجريان السطحي المتشكل في نواحي الحوض التي تمثلها قيم CNs (٥٥، ٦٣، ٧٢، ٧٦) أو تجريبي افتراضي لمجموعة من العينات العشوائية لقيم CNs التي شأها الاختلال في العلاقة بينها وبين Q وقياس مقدار عمق الجريان السطحي ومقارنته بالنتائج المحسوبة.

تقدير الجريان السطحي للأحواض الجزئية

تعود أهمية حساب الجريان السطحي على مستوى الأحواض الجزئية في معرفة مقدار إسهام كل حوض جزئي في التغذية الكلية للحوض، والتعرف على أكثر الأحواض قدرة على توليد الجريان السطحي، والكشف عن أكثر الأماكن عرضة لخطر تجمع المياه في الحوض. ويتضح من الجدول رقم (١١) أن حوض وادي الشرائع هو أكثر الأحواض الجزئية توليداً للجريان السطحي حيث بلغ مجموع الجريان السطحي فيه ١٠٥٠٧ م. بما نسبته ٤٠٪ من إجمالي الجريان السطحي في الحوض البالغ ٢٦٢٥٢ م لموجة مطر قدرها ١٨ ملم، وبالتالي فإن هذا الحوض من أهم الأحواض الجزئية المغذية للوادي بالمياه السطحية، ويتميز حوض الشرائع باتساع قطاعه الأدنى مما يساعد على إنشاء مصائد للمياه بهدف استثمارها أو لتغذية المخزون الجوفي، ومن ثم إبطاء الجريان السطحي وزيادة الفرصة في تسرب المياه في التربة، خاصة وأن ذلك الجزء من حوض الشرائع عرف بعيونه المائية التي من أشهرها عين حنين. ويولي حوض وادي الشرائع من حيث الإسهام المائي لمحمل الحوض، حوض وادي البجدي حيث يبلغ مجموع الجريان السطحي فيه ٤٥٥٠ م. بما نسبته ١٧٪ من إجمالي الجريان السطحي في الحوض. ومياه البجدي هامة جداً

جدول رقم (١١) عمق الجريان السطحي ومجموع الجريان لأحواض الجزئية .

المساحة كم ^٢	مجموع الجريان %	مجموع الجريان م	عمق الجريان ملم	الحوض الجزئي
٢١٣,٥٥٩٢	٤٠	١٠٥٠٧	٥	١
١٠٧,٥٨٦	١٧	٤٥٥٠	٤	٢
٧٥,٤٦٥٩	٩.٧	٢٥٣٩	٣	٣
٢٣,٣٢٨	٢.٥	٦٦٦	٣	٤
١٢,٨١٤٢	٢.٣	٦٠٦	٥	٥
٢٠,٠٧٣٦	٣.٤	٩٠٣	٥	٦
١٣,٣٧٤	٢.٥	٦٥٩	٥	٧
٢١,٠٣٩٣	٣.٢	٨٣٣	٤	٨
١٧,٥٤١	٢.٨	٧٢٤	٤	٩
٣٠,٦٤٥٩	٥.٣	١٣٨٦	٥	١٠
١,٧٩٩١	٠.٢	٤٤	٢	١١
١,٩١٠٧	٠.٢	٦٣	٣	١٢
١,٢٥٣٧	٠.٢	٥٩	٥	١٣
٠,٧٨٤٨	٠.١	١٤	٢	١٤
٣,٨١٤٢	٠.٤	١١٤	٣	١٥
٣,٧١٤٣	٠.١	١٩	١	١٦
٢,٣٤٥٤	٠.٣	٨٣	٤	١٧
٤,٩٦٤٤	٠.٦	١٥٢	٣	١٨
٦,١٥٣٣	١.٣	٣٣٠	٥	١٩
١,١٤٣	٠.١	١٥	١	٢٠
٦,٩٣٩٩	٠.٨	١٩٧	٣	٢١
٧,٢٢٠٧	١	٢٧٣	٤	٢٢
٣,٣٠٣٩	٠.٧	١٧٩	٥	٢٣
٢,٨٢٣٣	٠.٥	١٤٢	٥	٢٤
٤٠,٢٩٩٣	٤.٥	١١٧٧	٣	٢٥
٦٢٣,٨٩٧١	١٠٠	٢٦٢٥٢	٤,٣	مجمّل الحوض

المصدر: الباحثة.

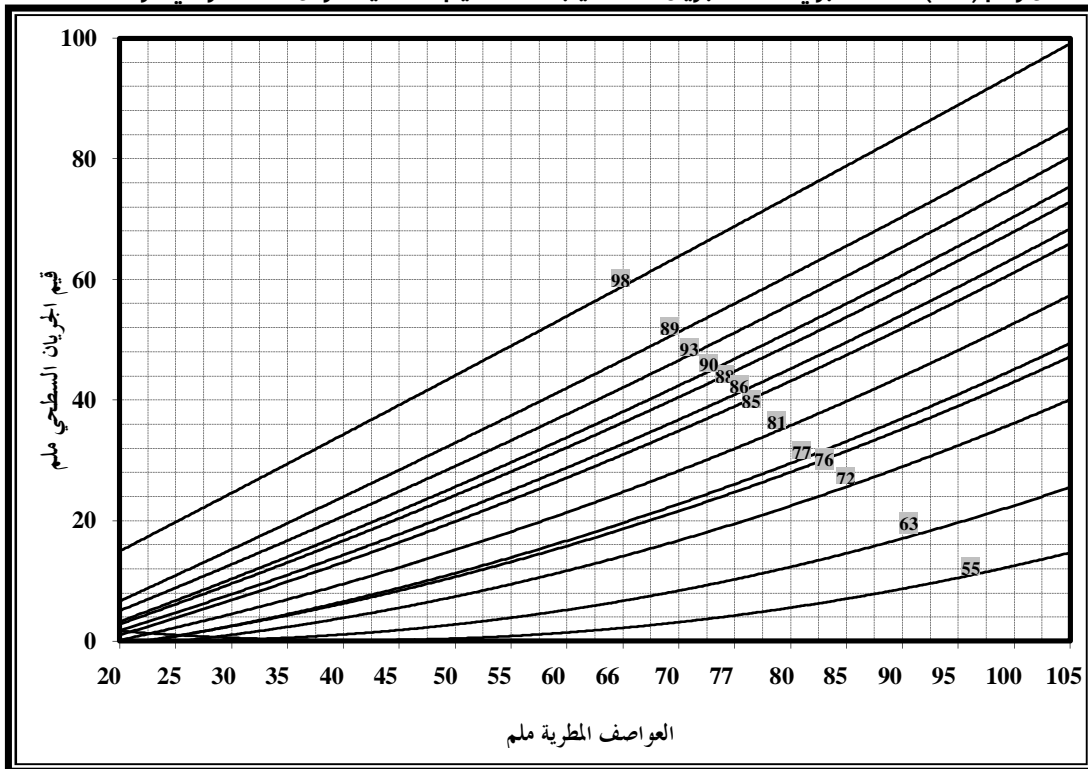
لسكان الوادي حيث يعتمد عليها في الشرب والزراعة لذا فإنه من المهم إنشاء خزانات تحت سطحية في مواقع التقاء روافد أودية البجيدي بهدف تغذية الخزان الجوفي. ومما يلاحظ على وادي البجيدي من الناحية الجيومورفولوجية نشاط عمليات الحت للمجري العليا الشمالية مما ينذر بحوث أسر نهري لجزء كبير من وادي الشرائع يمتد حتى وادي الصدر ولهذا الظاهرة أهمية كبيرة في زيادة كمية الجريان السطحي في حوض وادي البجيدي تزيد عن القيم المحسوبة في هذه الدراسة.

وباستثناء حوضي الشرائع والبجيدي فإن ما نسبته ٦٤ ٪ من الأحواض الجزئية لا يزيد إسهام أي منها عن ١ ٪ من إجمالي الجريان السطحي في الحوض، وفيها بلغت قيم CNS ٧٨ و٩٢، فيما تراوحت مساحة تلك الأحواض بين ١ كم^٢ و ٤٠ كم^٢. أما ما نسبته ٣٢ ٪ من الأحواض الجزئية فيتراوح إسهامها في توليد الجريان السطحي ما بين ٢,٤ ٪ - ١٠ ٪، وتبلغ فيها قيم CNS بين ٨٣ و ٨٩، وهي أحواض كبيرة المساحة نسبياً حيث تراوحت مساحتها بين ١٣ كم^٢ و ٧٥ كم^٢. ومما سبق يتبين أن عامل المساحة هو الأكثر تأثيراً في ارتفاع كمية الجريان السطحي على مستوى الأحواض الجزئية بغض النظر عن ما تمثله قيم CNS حيث انخفضت قوة معامل الارتباط بين متغيري الجريان السطحي و القيم المنحنية للأحواض الجزئية من علاقة قوية إلى علاقة قوية نسبياً بلغت ٠,٨٨ .

أما من حيث الاستدلال بالأحواض الجزئية على أكثر الأماكن عرضة لخطر السيول فإنه من الملاحظ أن مشعر عرفات يقع تحت تهديد ست أحواض تنحدر مياهها نحو عرفات مباشرة يبلغ مجموع الجريان السطحي الناشئ عنها ٤١٥٤ م، وهي الأحواض ٦ و ٧ و ٩ و ١٠ و ١٨ و ١٩ حيث تلتقي مياه الأحواض ٦ و ٩ و ١٠ و ١٨ في منطقة واحدة تقع إلى الشمال من عرفات، أما الحوض رقم (٧) فيجري في منطقة مهمة جداً تربط عرفات بالمزدلفة، كما أن أخفض أجزائه عبارة عن طرق ومواقف إسفلتية فأى اندفاع للمياه من هذا الحوض سيعرقل حركة السير هناك.

ومن خلال الشكل رقم (٢٧) أمكن تطوير مخطط تنبؤي لعمق الجريان السطحي لمنطقة الدراسة بافتراض ثمانية عشر عاصفة مطرية (شكل رقم ٢٨) ويمكن من خلاله تقدير الجريان

شكل رقم (٢٩) مخطط تنبؤي لعمق الجريان السطحي بناءً على قيم CN في الحوض الأعلى لوادي عرنة.



المصدر: الباحثة.

السطحي باستخلاص قيم Q مباشرة بدلالة رقم المنحنى CN والعاصفة المطرية . كما يمكن الاستعانة بذلك المخطط بالنسبة للأحواض التي تقترب في خصائصها الطبيعية والبشرية للحوض الأعلى لوادي عرنة.

ومن الشكل السابق تتبين علاقة طردية بين الأمطار والجريان السطحي، وحول قوة تلك العلاقة يرى بعض الباحثين أنه لا توجد علاقة قوية بين الأمطار والجريان السطحي ، في حين أكد البعض الآخر على قوة تلك العلاقة (راضي، ١٩٩٢م). أما هذه الدراسة فقد ركزت على قياس قوة العلاقة بين الجريان السطحي والأمطار من خلال القيم المنحنية CNs ، ووجد أنه كلما زادت كمية الأمطار الساقطة وارتفعت قيم CNs صاحب ذلك ارتفاع في قيم الجريان السطحي في ضوء علاقة طردية موجبة قوية جداً، تراوحت فيها معاملات الارتباط بين ٠,٨٨ عند أدنى قيمة CN في الحوض البالغة ٥٥ إلى ٠,٩٩ عند أعلى قيمة CN للحوض البالغة ٩٨. وهذه النتيجة تؤكد الاتجاه القائل بقوة العلاقة بين كمية الأمطار والجريان السطحي.

ب_ تقدير عمق الجريان السطحي من عاصفة مطر ١٩١م:

لم يكن الهدف من تقدير الجريان السطحي لعاصفة مطرية متطرفة هو معرفة أكثر أجزاء الحوض توليداً للجريان السطحي ونحوه؛ لأن ذلك قد علم مسبقاً من خلال تحليل قيم CNs وكذلك من خلال تقدير الجريان السطحي لعاصفة مطر اعتيادية كما تم إيضاحه سابقاً. إنما الهدف من تقدير الجريان السطحي لعاصفة مطرية متطرفة هو معرفة أعلى جريان سطحي من الممكن حدوثه في الحوض خلال فترة الرجوع المشاهدة البالغة ٣٩، فإذا كان أعلى جريان سطحي حسب على مستوى الخلايا لمطر ١٨ ملم بلغ ١٣ ملم فإن الهدف هنا معرفة أعلى جريان يحدث لنفس الخلية من مطر ١٩١ ملم أي في مساحة لا تتجاوز ١٠٠م^٢. والهدف من كل ذلك هو إبراز حقيقة العواصف المطرية المتطرفة التي لا يمكن التنبؤ بزمن حدوثها والزمن الذي تستغرقه في الهطول. وذلك من خلال مقارنة القيم المتحصل عليها من مطر ١٩١ ملم بالقيم الناتجة من العاصفة الاعتيادية من ناحية، وبنواتج حساب الجريان السطحي السنوي من ناحية أخرى.

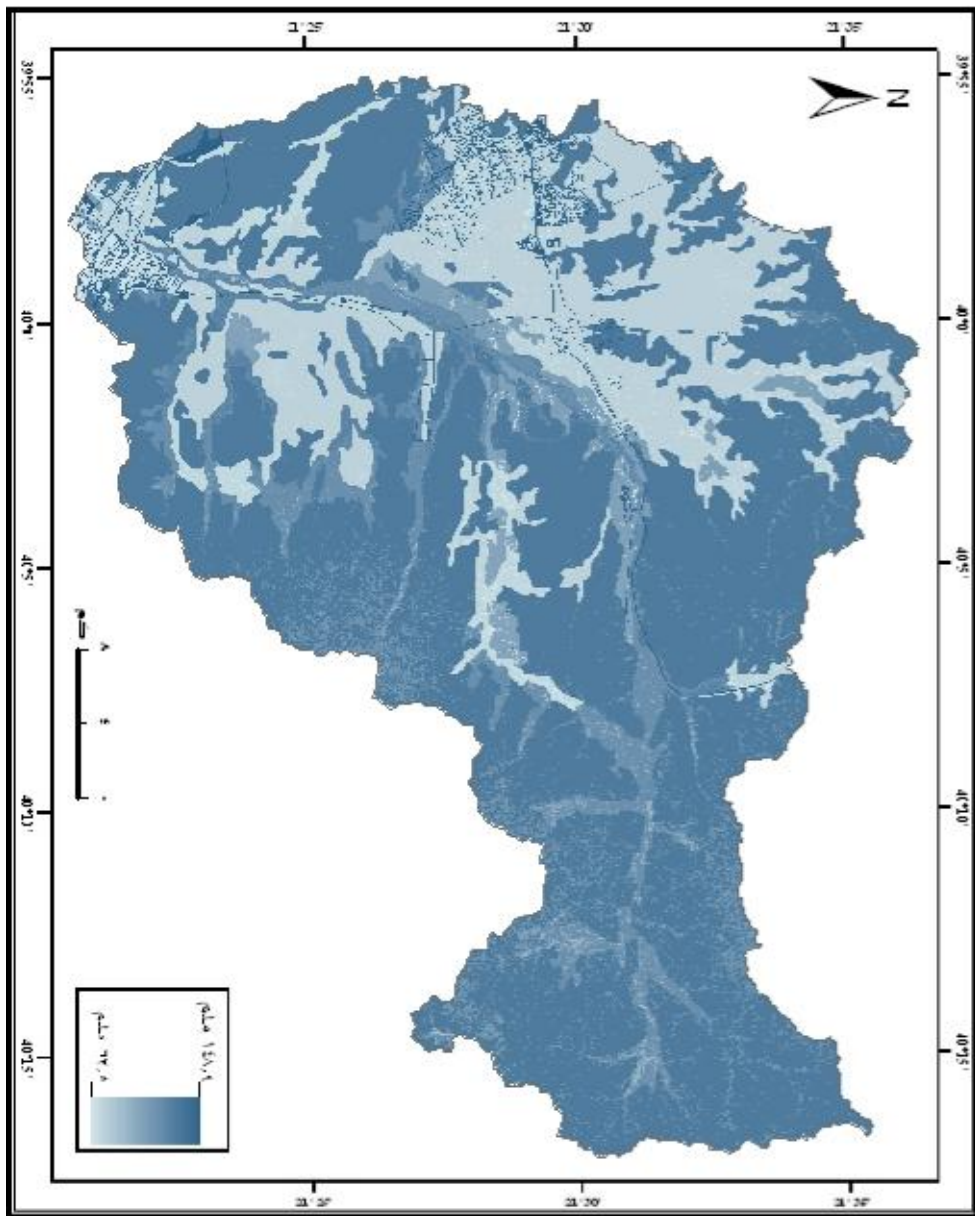
ويتبين من حساب عمق الجريان السطحي لحوض وادي عرنة من عاصفة مطرية متطرفة بلغت ١٩١ ملم أن عمق الجريان السطحي المتشكل على عموم الحوض بلغ ١٥٦ ملم، وهذه

كمية مرتفعة جداً، فما يزيد عن ثلاثة أرباع التساقط على الحوض سيجري على السطح، بينما قدرت المياه الجارية على السطح من مطر ١٨ مم بجوالي ربع التساقط مما يدل على أن عامل التسرب يضعف دوره مع زيادة كمية الأمطار الساقطة، أي أن العلاقة بين التسرب والمطر علاقة سالبة (USDA, 1986)، فكلما زادت كمية الأمطار الساقطة قلت كمية المياه المتسربة إلى داخل التربة، والعكس صحيح حيث تصبح التربة ذات إمكانية أعلى في امتصاص الماء كلما قلت كمية الأمطار الساقطة.

وبالنسبة للاختلافات المكانية بين أنحاء الحوض فقد تراوحت قيم Q بين ٦٣ مم في الأجزاء الشمالية الغربية من الحوض إلى ١٨٥ مم على مظاهر التعمير الحضري باعتبارها أشد أجزاء الحوض اصماتاً وبالتالي أقدرها على توليد جريان سطحي مرتفع (شكل رقم ٢٩). وبمقارنة القيم السابقة بأدنى وأعلى جريان نتج عن مطر ١٨ مم، فمن حيث القيم الدنيا لا يمكن إجراء أي مقارنة لإطراب العلاقة بين الجريان السطحي والأرقام المنحنية الدنيا، أما الفارق بين أعلى جريان حدث في كلٍ من العاصفتين فقد بلغ ١٧١ مم وهي قيمة عالية جداً تعكس خطر العواصف الفجائية في توليد كميات كبيرة من الجريان السطحي. ويؤكد خطورة العواصف المتطرفة ما كشف عنه معامل ارتباط بيرسون عن وجود علاقة موجبة طردية قوية جداً بين Q و CN الناتجة عن مطر ١٩١ مم بلغت ٠,٩٩، وإن كان ذلك يؤكد أيضاً النتيجة السابقة المتعلقة بعبء الجريان السطحي. ولذلك لا بد من التأكيد هنا على أهمية إيجاد حلول كفيلة بحماية مناطق التجمعات السكنية في الحوض، والحفاظ على مناطق الاستثمار المحلي الخاصة بالأهالي كالحيازات الزراعية الصغيرة في الأودية الضيقة كوادي الصدر ووادي البجدي حيث أنها عرضة للعزل عن أجزاء الحوض الأخرى في حال تزايد كميات الهطول المطري.

ويتضح من توزيع قيم Q بين أنحاء الحوض وهي جميعاً قيم مرتفعة، أن تلك المياه الناشئة تندفع في اتجاه عام واحد نحو مخرج الحوض حيث يقع مشعر عرفات، وهذه المياه لها قدرة على عزل عرفات عن الحوض وعن مدينة مكة المكرمة كما حدث خلال فترات تاريخية سابقة. كما أن معظم الأحياء السكنية مقامة في مناطق قليلة الارتفاع و خفيفة الانحدار مما يجعلها عرضة لخطر تجمع المياه بين المباني السكنية، كذلك الحال بالنسبة للقري المنتشرة بين الكتل الجبلية

شكل رقم (٣٠) التوزيع المكاني لقيم الجريان السطحي الناشئة عن مطر ١٩١ ملم في الحوض الأعلى لوادي عربة.



المصدر: الباحث.

كالشرايع العليا والقرى الصغيرة القائمة بالقرب من أقدم المرتفعات في وادي الصدر ووادي البجدي وبالتالي فإن تجمع المياه في تلك الأماكن له تأثير خطير على سلامة المباني السكنية من حيث إضعاف قواعدها الخرسانية.

ويبلغ مجموع الجريان السطحي المتشكل على حوض وادي عرنة نحو ٤٨٩٤٦٩٦٩ م. ومن الملاحظ أن مجموع الجريان الناشئ عن مطر ١٩١ ملم يزيد عن أربعة أضعاف ما يتولد من مطر ١٨ ملم فما يجري على السطح من مطر ١٨ ملم يمثل ما نسبة ٢,٦ ٪ من مجموع الجريان الناشئ عن مطر ١٩١ ملم، أي أنه سيتشكل على السطح بحيرة مائية تغمر جميع المناطق المنخفضة والأقل انحداراً في الحوض خاصة في ضل غياب تام لوسائل الحماية من مياه السيول في جميع أنحاء الحوض.

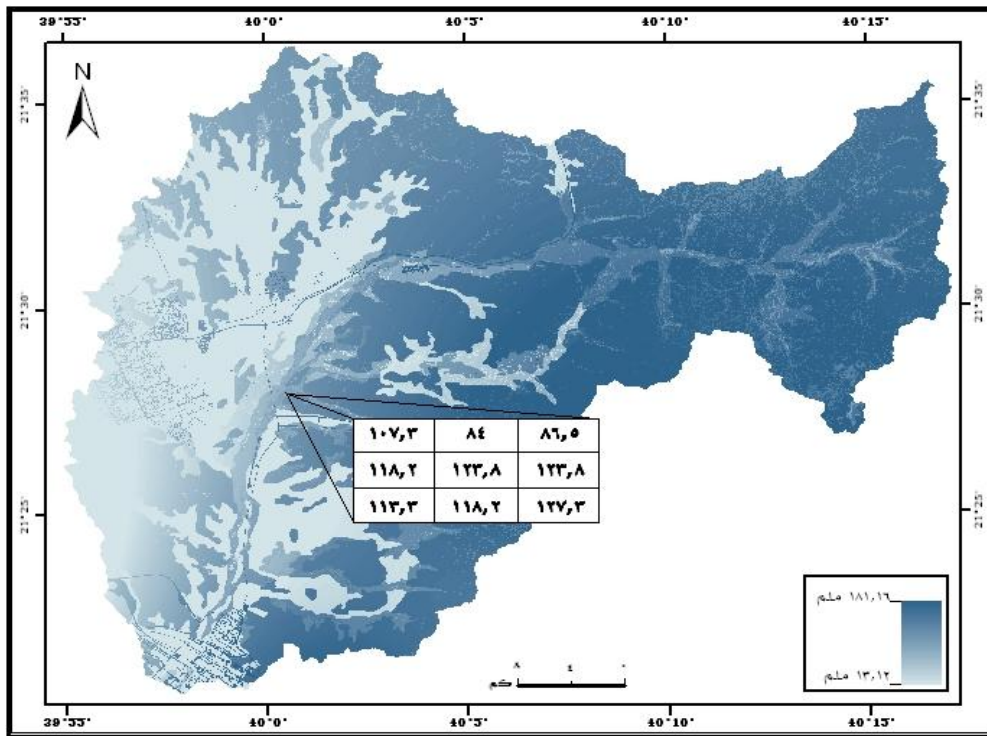
ج - تقدير الجريان السطحي السنوي:

استناداً على المعطيات الطبيعية للحوض والمعبر عنها بقيم CNs و S و Ia وبحساب المتوسط السنوي للأمطار لكل خلية من واقع سجلات الأمطار المتاحة للمحطات المحيطة بمنطقة الدراسة، وباستخدام وظيفة Raster Calculator، تم حساب الجريان السطحي السنوي للحوض الأعلى لوادي عرنة وأحواضه الجزئية (شكل رقم ٣٠). ووفقاً للقيم المحسوبة فقد بلغ متوسط عمق الجريان السطحي السنوي ١٢٥ ملم، وبلغت أدنى القيم المحسوبة ١٣ ملم في الأجزاء الغربية من الحوض، أما أعلى القيم المحسوبة فبلغت ١٨١ ملم في جنوب شرق الحوض. ويلاحظ أن أدنى قيم Q السنوية تساوي أعلى قيم Q المحسوبة من مطر ١٨ ملم حيث بلغت ١٣ ملم، أي أن العواصف المطرية الاعتيادية قادرة على توليد جريان سطحي يماثل أقصاه القيم الدنيا للجريان السطحي السنوي. ولوحظ أيضاً أن أعلى قيم Q السنوية قريبة من قيمة Q الناتجة من مطر ١٩١ ملم والتي بلغت ١٨٣ ملم، وبالتالي فإن ما قد يحدث من جريان سطحي خلال سنة يعادل ما ينتج من عاصفة مطر استثنائية قد تحدث في أي يوم خلال مواسم سقوط الأمطار، ويستدل من ذلك على أن خصائص الحوض الطبيعية والبشرية والمعبر عنها بقيم CNs هي العامل المسئول عن الاستجابة المرتفعة للجريان السطحي في الحوض الأعلى لوادي عرنة، أي أن الحوض قادر على توليد جريان سطحي ملحوظ دون أن تكون قيم التساقط المطري أعلى من المتوسط.

ولقد أفترض في التقديرين السابقين للجريان السطحي في الحوض الأعلى لوادي عرنة ثبات عاصفتي المطر (١٨ ملم ، ١٩١ ملم) في التباينات المكانية على جميع أجزاء الحوض، وبالتالي فإن الأرقام المنحنية CNS كانت هي المتحكم الرئيس في تباين قيم Q بين أجزاء الحوض. إلا أنه في تقدير الجريان السنوي أصبح لعنصر المطر تأثير ملحوظ في تباين قيم Q المحسوبة ، كما اتضح في الشكل السابق، وذلك تبعاً لاختلاف متوسط المطر السنوي لكل خلية في الحوض. ومن الشكل رقم (٣٠) تتضح حساسية تقدير الجريان السنوي لكل خلية تبعاً لتقدير المطر السنوي فيها. من أجل ذلك تم تصنيف الجريان السطحي السنوي إلى عدة مستويات (شكل رقم ٣١) ويلاحظ تأثير توزيع القيم السنوية للجريان السطحي بخطوط المطر المتساوي في الحوض، حيث ترتفع قيم الجريان السطحي مع ارتفاع قيمة خط التساوي المطري من جنوب شرق الحوض ويقل الجريان مع انخفاض القيم المطرية بالاتجاه غرباً حتى يبلغ أذناه في أقصى غرب الحوض. ويلاحظ أن الجريان يكون أعلى في مناطق المرتفعات الجبلية حيث ترتفع قيم التساقط ويقل في المناطق قليلة الارتفاع، وإذا أخذنا بالاعتبار عامل الانحدار للمرتفعات الجبلية، وقيم الاصمات المرتفع (٩٣ CN) يمكننا القول بأن ما يزيد عن نصف مساحة الحوض هي مناطق نشأة وترحيل لمياه الجريان السطحي مهما تباينت كمية تلك المياه الناتجة من العاصفة المطرية. وقد أسهمت قيمة الاصمات المرتفعة مع ضعف التغطية النباتية، وزيادة معدلات التساقط، وضعف فرص تسرب المياه، وارتفاع معدلات الانحدار، في رفع معدلات الجريان السطحي، وسرعة تدفق المياه من جميع أنحاء الحوض المشغولة بالغطاء الجبلي لتتجمع قريباً من وسط الحوض، ثم تتجه ناحية الجنوب حيث مشعر عرفات الواقع في أكثر الأماكن عرضة لخطر السيول.

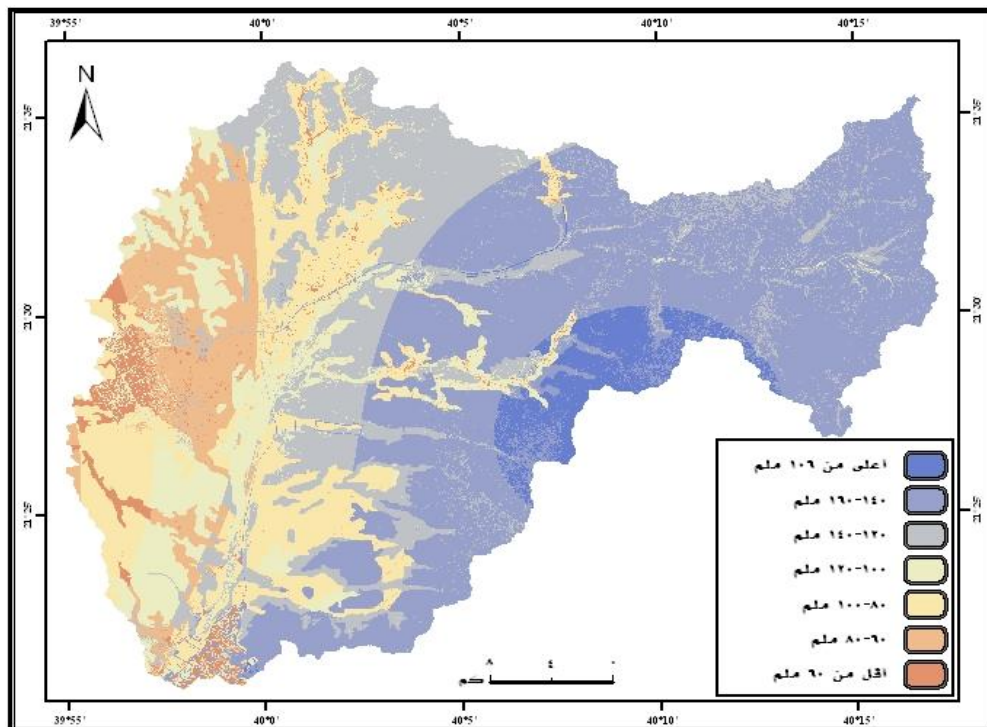
وبملاحظة منحني عمق الجريان السطحي السنوي لكل قيمة من قيم CNS كما يبين الشكل رقم (٣٢) نجد أن المنحني لا ينتظم صعوده مع صعود قيم CNS بالرغم من أن جميع المتوسطات السنوية للأمطار هي أعلى من عتبة عمق الجريان البالغة (٤٠ ملم) وهذا يعود إلى اختلاف معدلات الأمطار السنوية الساقطة على أجزاء الحوض. غير أن تباين التوزيع المكاني للمعدلات السنوية للأمطار لم يؤثر على قوة العلاقة بين القيم المنحنية ومعدلات الجريان السنوي،

شكل رقم (٣١) التوزيع المكاني لقيم الجريان السطحي السنوي في الحوض الأعلى لوادي عرنة.



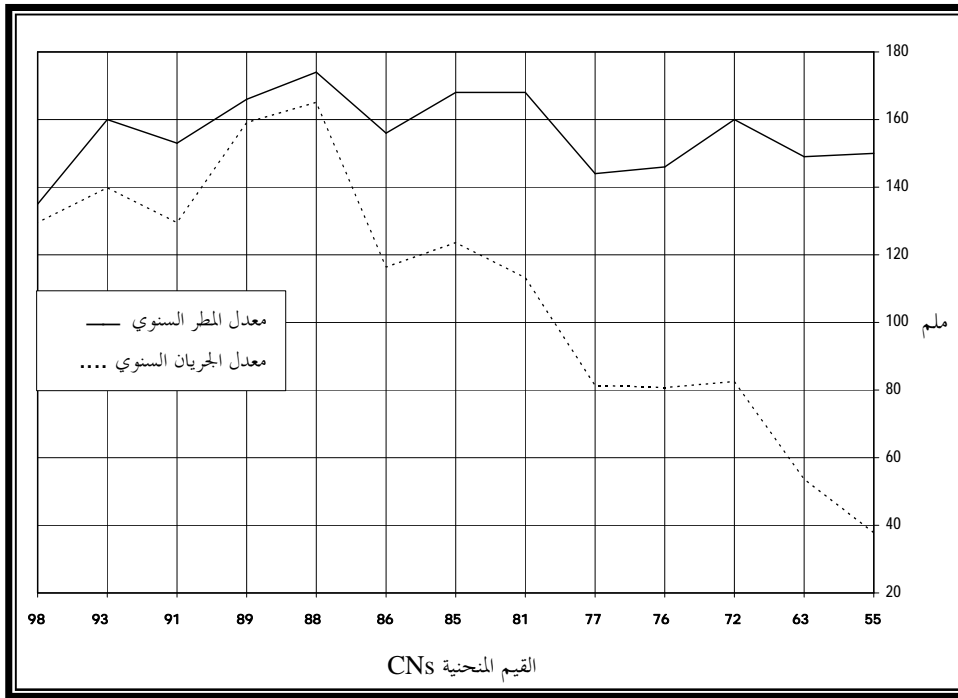
المصدر: الباحثة

شكل رقم (٣٢) مستويات الجريان السطحي السنوي في الحوض الأعلى لوادي عرنة.



المصدر: الباحثة

شكل رقم (٣٣) العلاقة بين معدل المطر السنوي و الجريان السطحي السنوي.



المصدر: الباحثة.

ويلاحظ ارتفاع معدلات التسرب والفقْد السنوي وانخفاض معدلات الجريان السطحي كلما انخفضت القيم المنحنية.

تأثير الاصمات في نشوء الجريان السطحي، كما يلاحظ أن معدلات التسرب والفقد السنوي من مياه الأمطار تزداد بانخفاض CNs وبالتالي فإن المعدلات السنوية للجريان السطحي أقل من معدل الجريان السطحي للحوض البالغة (١٢٥ ملم) وذلك ابتداءً من رقم المنحنى ٨٦ فما دون بينما يقل التسرب والفقد وترتفع قيم Q السنوية إلى ما يزيد عن المعدل العام للحوض مع ارتفاع قيم CNs.

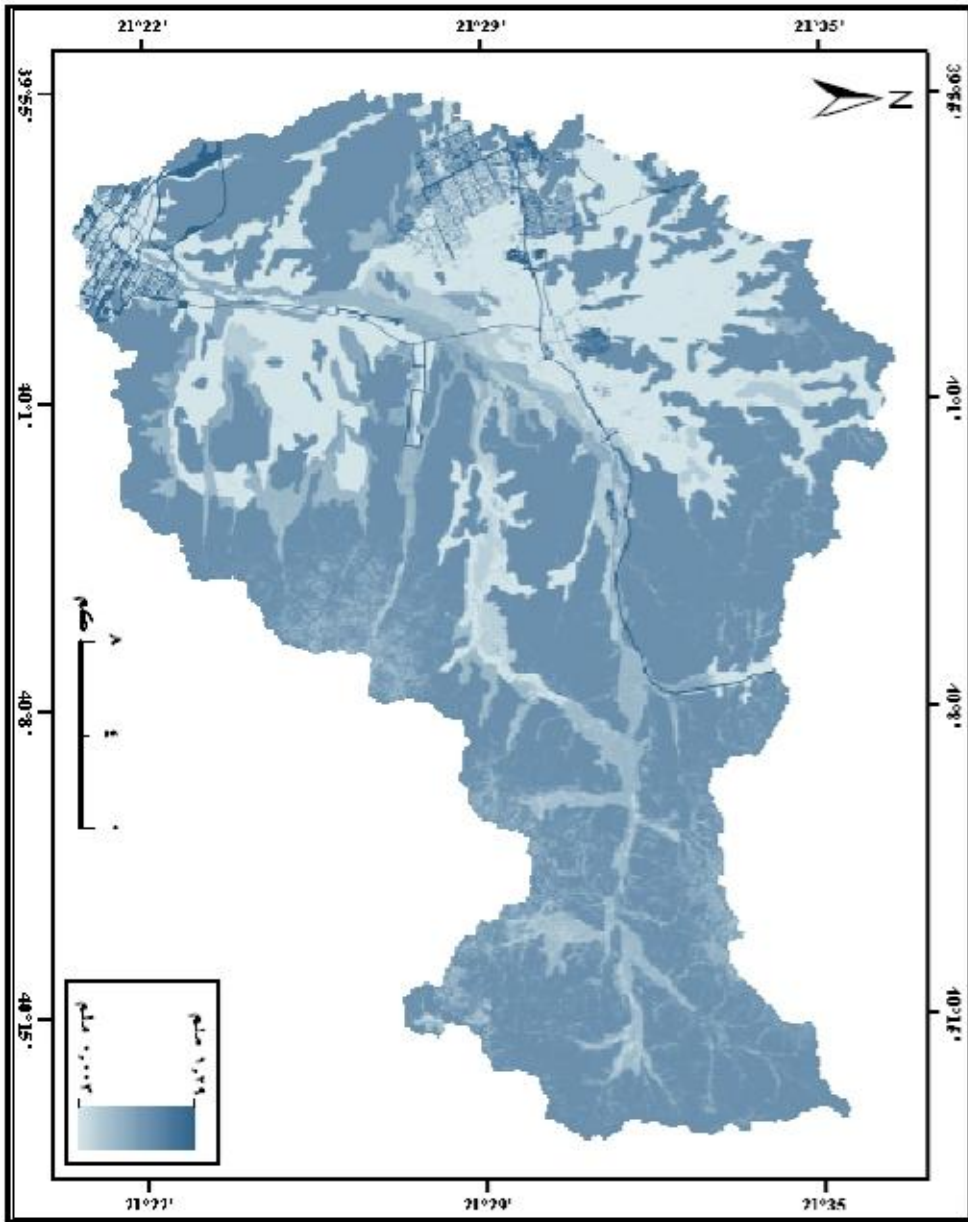
سادساً: تقدير حجم الجريان السطحي في الحوض الأعلى لوادي عرنة :

يعبر حجم الجريان السطحي (Qv) Runoff Volume عن مجموع الجريان إلى مساحة الحوض. ويعتبر حجم الجريان السطحي من الحسابات الهيدرولوجية الهامة للعديد من الدراسات الهيدرولوجية خاصة التي تعنى بتحديد مواقع السدود، ودراسات مصائد المياه. كما أن تقدير حجم الجريان السطحي يساعد في التعرف على أكثر المواقع عرضة لغمر المياه، وتحديد المواقع الأصلح للمصاطب الصناعية المعرّقة لحركة المياه. ومن ناحية أخرى فإن حجم الجريان السطحي يساعد على تخمين المواقع المحتملة لآبار المياه.

ووفقاً لحسابات عمق الجريان السطحي أمكن تقدير حجم الجريان في الحوض الأعلى لوادي عرنة من خلال تحويل طبقة عمق الجريان السطحي عن طريق وظيفة Raster Calculator في بيئة ArcGIS إلى طبقة أخرى جديدة تحوي قيمها على حجم الجريان لكل خلية في الحوض. وتم تطبيق ذلك الإجراء على طبقتي عمق الجريان لمطر ١٨مم، و عمق الجريان السنوي (شكل رقم ٣٣).

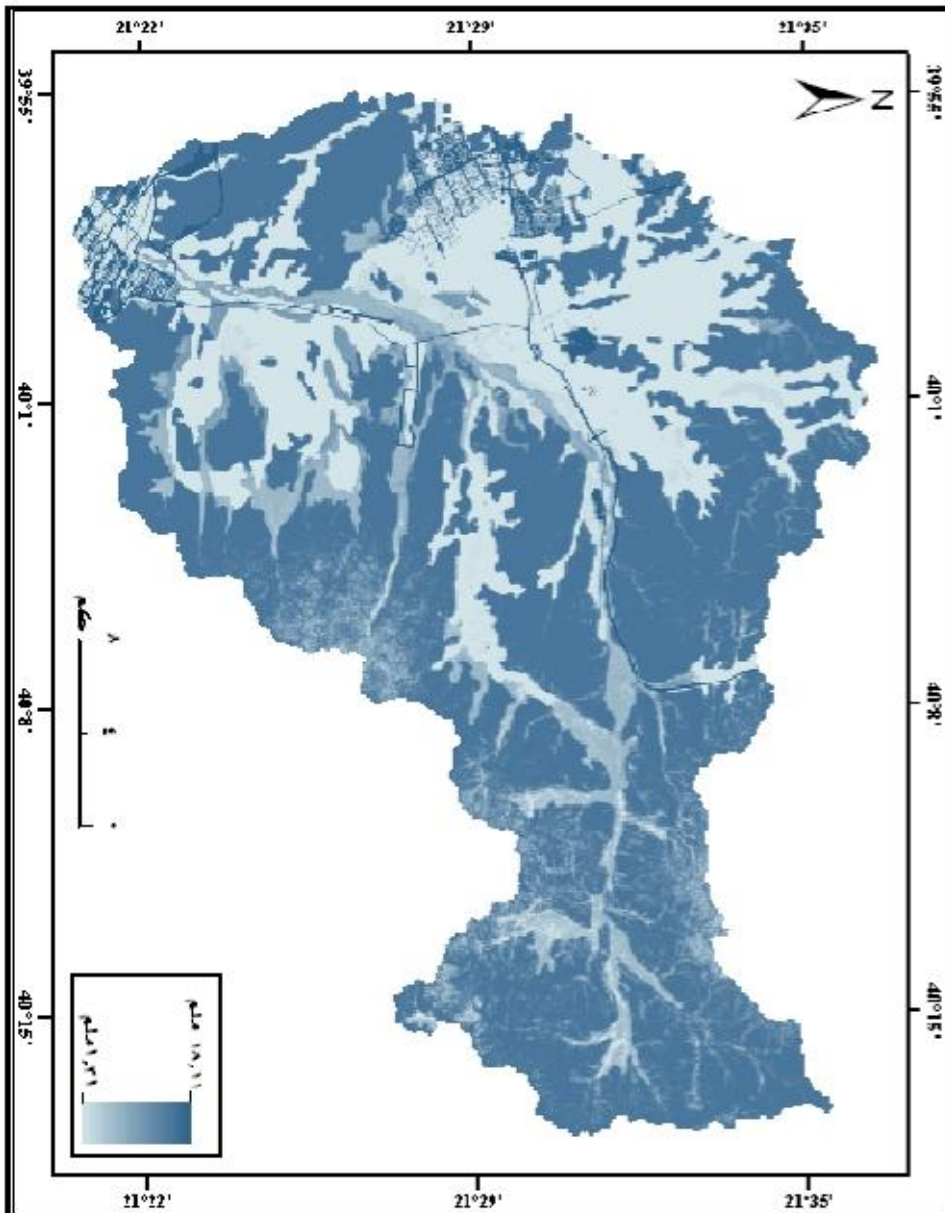
ومن خلال القيم المحسوبة لحجم الجريان السطحي من عاصفة مطر ١٨مم، وجد أن مجموع حجم الجريان السطحي المتشكل في الحوض بلغ ٢,٦ مليون/م^٣ خلال ٢٤ ساعة، بما نسبته ٢,٣٪ من حجم التساقط على الحوض، في حين بلغ حجم الجريان السطحي السنوي للحوض ٧٧ مليون/م^٣ في السنة، بما نسبته ٧,٩٪ من حجم التساقط السنوي (شكل رقم ٣٤). إن تلك القيم المحسوبة تعكس قدرة الحوض على إنتاج كميات عالية من المياه

شكل رقم (٣٤) التوزيع المكاني لحجم الجريان السطحي الناشئ عن مطر ١٨ ملم في الحوض الاعلى لوادي



المصدر: الباحث.

شكل رقم (٣٥) التوزيع المكاني لحجم الجريان السطحي السنوي في الحوض الأعلى لوادي عربة.



المصدر: الباحثة.

الجارية، كما أنها تعكس حجم الثروة المائية المهذرة للحوض الذي يفتقر لأي نوع كان من تقنيات إدارة الأحواض المائية، فالحوض ذو أهمية مائية تجعل الاعتماد عليه كظهير مائي لمدينة مكة المكرمة أمراً ممكناً، خاصة أن المدينة تشهد نمواً سكانياً متزايداً يصاحبه تزايد في الطلب على المياه، وكثيراً ما تحدث أزمات مائية يتزايد خلالها الطلب على المياه خاصة خلال مواسم الزيارة والعمرة وخلال أشهر الحج.

و بمقارنة القيم المحسوبة للحوض مع القيم المحسوبة لحوض وادي نعمان، وجد أن حجم الجريان السطحي للحوض والبالغ ٢,٦ مليون/م^٣ لمطر ١٨ مم يماثل ما وتصل إليه السدحان في تقديره لحجم الجريان السطحي لحوض وادي نعمان والذي قدر بحوالي ٢,٥٨ مليون/م^٣ (الشمراي ومرزا، ١٤٢٥هـ). بينما يزيد حجم الجريان السنوي لحوض وادي عرنة الأعلى بمقدار ٦٨٪ عن حجم الجريان السنوي لوادي نعمان البالغ ٤١,٦ مليون/م^٣ في السنة لقطاعي الحوض الأعلى والأدنى حسب تقديرات مرزا (الشمراي ومرزا، ١٤٢٥هـ). وربما يعود تدني قيمة حجم الجريان السنوي لوادي نعمان إلى قلة فترة الرصد المطري المستخدمة في تقدير حجم الجريان.

وبالنسبة لدراسة حجم الجريان السنوي على مستوى الأحواض الجزئية، وجد أن أشد الأحواض صماتة وأكبرها مساحة نتج عنها حجم للجريان السطحي مرتفع. ويتبين من قيم Qv السنوية المحسوبة للأحواض الجزئية (جدول رقم ١٢) أن أعلى حجم للجريان السطحي السنوي بلغ ٣٠ مليون/م^٣ في حوض وادي الشرائع بما نسبته ٣٩٪ من إجمالي حجم الجريان السطحي السنوي في الحوض، وحجم المياه تلك تؤكد ما ذكر سابقاً حول أهمية هذا الحوض من الناحية الهيدرولوجية وأهمية الاستفادة من نواتجه المائية خاصة وأن التوسع العمراني في الحوض ينحصر في مواقع محددة مما يساعد على جعل مياه الجريان السطحي أقل عرضة للتلوث بعكس الأحواض الغربية المستغلة في التوسع العمراني حيث تختلط مياه الجريان مع ملوثات البيئة الحضرية. ويليه من حيث حجم المياه حوض وادي البجدي بنحو ١٤ مليون/م^٣ في السنة، ثم الحوض رقم (٣) بنحو ١٠ مليون/م^٣ في السنة، وتعتبر هذه الأحواض هي الأهم من ناحية مقدرتها على تغذية مجمل الحوض حيث يقدر إسهامها بما نسبته ٨٦,٨٪ من إجمالي حجم

جدول رقم (١٢) حجم الجريان السطحي لعاصفة ١٨ مم ، وحجم الجريان السطحي السنوي.

الحوض الجزئي	المساحة كم ^٢	حجم الجريان (م ^٣) لطر ١٨ ملم	%	حجم الجريان السنوي (م ^٣)	%
١	٢١٣,٥٥٩٢	١٠٥٠٧٠٤	٤٠,١	٣٠٢٥١٣٢٦	٣٩
٢	١٠٧,٥٨٦	٤٥٤٩٦٣	١٧,٣	١٤٩١٥٥٢٠	١٩
٣	٧٥,٤٦٥٩	٢٥٣٨٨٧	٩,٦٨	٧٩٨٧٥٩٦	١٠
٤	٢٣,٣٢٨	٦٦٥٧٥	٢,٥٤	١٩٤٨٨٧٦	٢,٥
٥	١٢,٨١٤٢	٦٠٦١٢	٢,٣١	١٠٠٩٢٩١	١,٣
٦	٢٠,٠٧٣٦	٩٠٢٨٠	٣,٤٤	١٨١٨٩٠٩	٢,٤
٧	١٣,٣٧٤	٦٥٩٤٢	٢,٥١	١٢٨٠٢٧٤	١,٧
٨	٢١,٠٣٩٣	٨٣٢٥٤	٣,١٧	٢٧٤٢٦٤٩	٣,٦
٩	١٧,٥٤١	٧٢٤٢٠	٢,٧٦	٢٣٣٤٥١٨	٣
١٠	٣٠,٦٤٥٩	١٣٨٥٨٤	٥,٢٨	٤١٥٠٤٩٩	٥,٤
١١	١,٧٩٩١	٤٤٢٠	٠,١٧	١٦٩٣٦٤	٠,٢
١٢	١,٩١٠٧	٦٢٦١	٠,٢٤	٢٢٣١١٥	٠,٣
١٣	١,٢٥٣٧	٥٨٩٥	٠,٢٢	١٥٦١١٤	٠,٢
١٤	٠,٧٨٤٨	١٤٤٠	٠,٠٥	٥٥٦٤٠	٠,١
١٥	٣,٨١٤٢	١١٤٠٣	٠,٤٣	٤٠٩٤٧٢	٥,٠٠
١٦	٣,٧١٤٣	١٩١٧	٠,٠٧	٣٥٤١٢٤	٠,٥
١٧	٢,٣٤٥٤	٨٣٤٧	٠,٣٢	٢٤٢٩٨٩	٠,٣
١٨	٤,٩٦٤٤	١٥١٨١	٠,٥٨	٦٠٤٤٩٣	٠,٨
١٩	٦,١٥٣٣	٣٣٠١٣	١,٢٦	٦٦٧٧٣٤	٠,٩
٢٠	١,١٤٣	١٤٥٦	٠,٠٦	٨٤١٤٧	٠,١
٢١	٦,٩٣٩٩	١٩٧١٧	٠,٧٥	٥١٩٣٢٢	٠,٧
٢٢	٧,٢٢٠٧	٢٧٣٣٤	١,٠٤	٥٢٥١٢٦	٠,٧
٢٣	٣,٣٠٣٩	١٧٨٩٦	٠,٦٨	٣٢٤٨٦٧	٠,٤
٢٤	٢,٨٢٣٣	١٤٢٠٣	٠,٥٤	٢٩٥٥٩٦	٠,٤
٢٥	٤٠,٢٩٩٣	١١٧٧٢٨	٤,٤٩	٤١٢٠٨٨٥	٥,٣
مجمّل الحوض	٦٢٣,٨٩٧١	٢,٦٢٣,٤٣٦	١٠٠	٧٧,١٩٢,٤٤٦	١٠٠

المصدر: الباحثة بالاعتماد على الشكلين (٣٣ و ٣٤).

الجريان السطحي للحوض ككل. أما الأحواض الجزئية الأخرى فلا يزيد حجم الجريان السطحي السنوي لأي منها عن ٦ ٪ من جملة حجم الجريان في الحوض.

الفصل الرابع

المخاطر السيلية في الحوض الأعلى لوادي عرنة

- تمهيد
- حساب مدخلات نموذج مخطط ذروة التصريف
- تقدير ذروة التصريف في الحوض الأعلى لوادي عرنة

تمهيد:

ترتبط المخاطر السيلية لمياه الجريان السطحي بحدوث عواصف مطرية شديدة الغزارة ينتج عنها تدفق كميات كبيرة من المياه الجارية على السطح، وتتحرك تلك المياه وفق عامل الانحدار من مكان لآخر، وقد تصل بكميات كبيرة إلى أماكن قد لا تسهم خصائصها الطبيعية في توليد جريان سطحي مرتفع فتلحق أضراراً غير متوقعة وخسائر كبيرة في الأرواح والممتلكات خاصة في ظل غياب وسائل التحكم بمياه السيول. وظاهرة السيول أو الفيضانات في الأقاليم الجافة وشبه الجافة يصعب التنبؤ بحدوثها؛ لارتباطها بفجائية التساقط ومقدار عمقه. وباعتبار أن السيول ظاهرة لا يمكن للإنسان التحكم بوقت حدوثها ومقدار شدتها فإنه يتوجب عليه ألا يكون سبباً في تعميق أثرها بما يحدثه في بيئته من تغيير لسماقتها الطبيعية، أو طمس لمسارات تدفق المياه بزيادة الرصف والتعمير.

وتتعدد أساليب دراسة المخاطر السيلية، فمنها ما يلجأ إلى استعراض تاريخي للحوادث السيلية والآثار الناتجة عنها. ومنها ما يعتمد على تحليل القيم المقاسة للجريان السطحي من محطات القياس الهيدرومترية. في حين تعتبر دراسات تقدير قمة التصريف من أبرز الأساليب المتبعة في دراسات مخاطر السيول للأحواض التي لا تتوفر فيها محطات لقياس الجريان السطحي، ويتم ذلك بالاعتماد على أقصى عاصفة مطرية متوقع حدوثها بناءً على السجل المطري لمنطقة الدراسة (غانم، ٢٠٠٨م)، غير أن هنالك من يعتمد على عواصف مطرية اعتيادية في حساب ذروة التصريف (Sorman,1993).

ويهدف هذا الفصل إلى دراسة المخاطر السيلية في الحوض الأعلى لوادي عرنة الذي يعتبر من بين أكثر الأماكن المعرضة لمخاطر السيول في مدينة مكة المكرمة من حيث تجمعها، وانتقالها إلى أماكن أخرى (الدفاع المدني، ١٤٢٤هـ)، وذلك من خلال تطبيق نموذج مخطط قمة التصريف Graphical Peak Discharge Method المعد من قبل مصلحة صيانة التربة الأمريكية (SCS). ويعتمد هذا النموذج على أربعة عناصر رئيسية هي: مساحة حوض التصريف Drainage area، والجريان السطحي Runoff، ووحدة ذروة التصريف Unit peak discharge، ومعامل المستنقعات والبرك Pond and Swamp adjustment factor. وخلص هذا الفصل إلى

تقدير ذروة التصريف للحوض ككل وأحواضه الجزئية، وإلى تحديد الأماكن الأكثر عرضة لمخاطر السيول في الحوض.

أولاً: حساب مدخلات نموذج مخطط ذروة التصريف

يعتمد تقدير ذروة التصريف حسب طريقة (SCS) كما ذكر آنفاً على أربعة عناصر، وحيث أن مساحة الحوض وأحواضه الجزئية معلومة، وكذلك عمق الجريان السطحي، فإن القيمة الأهم هنا هي قيم وحدة ذروة التصريف (qu). ويتم في العادة استخلاص قيم (qu) من مخطط وحدة ذروة التصريف حسب نوع العاصفة المطرية بدلالة زمن التركيز Time of concentration (Tc) ونسبة الاستخلاص الأولي قبل بدء الجريان السطحي إلى المطر (Ia/p) (USDA, 1986, P 4-1). ويحوي الجدول رقم (١٣) على القيم المحسوبة لزمن التركيز ونسبة الاستخلاص الأولي إلى المطر في الحوض الأعلى لوادي عرنة وأحواضه الجزئية بالإضافة إلى بعض المعاملات التضاريسية الأخرى للحوض، أما معامل المستنقعات والبرك فسيتم استبعاده لعدم وجود برك أو مستنقعات في منطقة الدراسة.

ويستدل من قيم زمن التركيز الواردة في الجدول رقم (١٣) على الوقت الذي يستغرقه الماء للوصول من أبعد نقطة في الحوض إلى مخرج الحوض. وبلغت قيمة (Tc) للحوض ست ساعات وخمس دقائق (٦:٥)، وهي قيمة مرتفعة تعكس طول الفترة الزمنية التي يستغرقها الماء للوصول من أبعد نقطة في أقصى شرق الحوض إلى مخرجه في الجنوب. ويرجع طول زمن التركيز للحوض إلى طول الحوض البالغ ٦٧ كم، كما أن الحوض يتصف بتعرجه إذ بلغ معامل التعرج ١,٦ مما يدل على أن موجات الفيضان تصل على فترات إلى أدنى الحوض مما يتيح المجال لفقد بعض المياه بواسطة التسرب والتبخر. غير أن هنالك اختلافات مكانية على مستوى الأحواض الجزئية حيث تراوحت قيم (Tc) بين ٤:٤ ساعات في الحوض رقم (٢٥) إلى ثلاثة دقائق في الحوض رقم (١٦)، ويلاحظ أن الأحواض الكبرى في شمال وشمال غرب الحوض وهي

جدول رقم (١٣) زمن التركيز ونسبة الاستخلاص الأولي إلى المطر في الحوض الأعلى لوادي عرنة .

معامل التعرج	طول الحوض كم	الانحدار %	Ia/P	Tc-h	CN	المساحة كم ^٢	الحوض الجزئي
١,٣	٣٥	٢٦	٠,٠٥	٢:١	٩١	٢١٣,٥٥٩٢	١
١,٤	٢٦,٢٣	٢٢	٠,٠٦٣	٢:٨	٨٩	١٠٧,٥٨٦	٢
١,٥	٢٠,٧٦	١١	٠,٠٨٣	٣:٧	٨٦	٧٥,٤٦٥٩	٣
١,٣	١٠,٧٦	٦	٠,١٠٤	٣:٣	٨٣	٢٣,٣٢٨	٤
٢	٨,٩١	١٤	٠,٠٦٩	١:٦	٨٨	١٢,٨١٤٢	٥
١,٢	١١,٠٢	٢٦	٠,٠٦٣	١:٣	٨٩	٢٠,٠٧٣٦	٦
١,٣	١٠,١٨	٢٢	٠,٠٧٦	١:٤	٨٧	١٣,٣٧٤	٧
١,٢	١١,٧٦	١٨	٠,٠٦٩	١:٧	٨٨	٢١,٠٣٩٣	٨
١,١	١٣,٦٩	٢٦	٠,٠٦٣	١:٥	٨٩	١٧,٥٤١	٩
١,٢	١٢,١٦	٢٠	٠,٠٦٣	١:٦	٨٩	٣٠,٦٤٥٩	١٠
١,١	٢,٩٣	٤	٠,١٠٤	٠:٥	٨٣	١,٧٩٩١	١١
١,٦	٤,٨٩	٩	٠,٠٨٣	١:٢	٨٦	١,٩١٠٧	١٢
١,١	٢,٨٦	٩	٠,٠٥٦	٠:٦	٩٠	١,٢٥٣٧	١٣
١	٢,٩٢	٢	٠,١٤٣	١:٨	٧٨	٠,٧٨٤٨	١٤
١,٦	٤,٥٨	٩	٠,٠٩	١:٢	٨٥	٣,٨١٤٢	١٥
١,١	٥,٢٤	٣	٠,١٤٣	٠:٣	٧٨	٣,٧١٤٣	١٦
١,١	٣,٢٧	٩	٠,٠٧٦	٠:٩	٨٧	٢,٣٤٥٤	١٧
١,٢	٥,٩٩	٥	٠,٠٨٣	١,١	٨٦	٤,٩٦٤٤	١٨
١,٤	٥,٦٩	٢١	٠,٠٥٦	٠:٨	٩٠	٦,١٥٣٣	١٩
٠,٩	٢,٣٧	١	٠,١٤٣	٢:٥	٧٨	١,١٤٣	٢٠
١,٤	٩,٨٩	١١	٠,١١٢	٢:٤	٨٢	٦,٩٣٩٩	٢١
٢,٢	٧,٨٩	٤	٠,١١٢	٣	٨٢	٧,٢٢٠٧	٢٢
١,٢	٣,٤٨	٢٥	٠,٠٤٤	٠:٥	٩٢	٣,٣٠٣٩	٢٣
١,١	٣	٢٢	٠,٠٥	٠:٥	٩١	٢,٨٢٣٣	٢٤
١,٤	٢٧,٢١	٧	٠,١٠٤	٤:٤	٨٣	٤٠,٢٩٩٣	٢٥
١,٦	٦٢	١٠	٠,٠٤	٦:٥	٨٨	٦٢٣,٨٩٧	الحوض

المصدر: الباحثة.

(٣ و ٤ و ٢٢) كان لها أعلى قيم (Tc) حيث تراوحت بين ٣ و ٣:٧ ساعات ويرجع ذلك إلى أن مجاري تلك الأودية استطاعت أن تقطع شوطاً في دورتها الحثية بحيث مهدت معظم أراضيها فلا يزيد أقصى ارتفاع فيها عن ١٠٠٠ م، كما أنها منطقة قليلة الانحدار لا يزيد معدل ميلها عن ١١٪ ، فضعف تدفق المياه في تلك الأحواض يساعد على تسرب جزء كبير من المياه في داخل التربة، كما يساعد أيضاً في حدوث التبخر، وبالتالي فإن من المتوقع توفر مخزون جوفي جيد في تلك الأجزاء من الحوض. كما يلاحظ أن الحوض رقم (٢٥) سجل أعلى زمن للتركيز من بين جميع الأحواض (٤:٤ ساعات) وهذه نتيجة متوقعة كون الحوض يمثل المناطق البينية بين الأحواض الجزئية حيث يتسم شكل الحوض بالاستطالة مما يجعل الماء يستغرق وقت أطول للوصول إلى مخرج الحوض، كذلك فإن الحوض قليل الارتفاع حيث يبلغ أقصى منسوب ارتفاع ٨٣٢ م، ويبلغ معدل انحدار سطحه نحو ٧٪ ، وكما هو معلوم فإنه كلما زاد ارتفاع السطح وانحداره أدى ذلك إلى انخفاض زمن التركيز، ويحدث عكس ذلك في الأسطح قليلة الارتفاع والتي تميل إلى الاستواء حيث يرتفع فيها زمن التركيز، ومما ساعد أيضاً على ارتفاع زمن التركيز في الحوض رقم (٢٥) هو أن مجرى الحوض يسير ضمن إرسابات رباعية ضحلة تبطئ جريان المياه وبالتالي تزداد الفترة الزمنية اللازمة لانتقال المياه إلى مخرج الحوض.

ويلاحظ انخفاض قيم (Tc) للأحواض الشرقية والغربية المنحدرة من المرتفعات الجبلية العالية حيث لازالت الكتل الجبلية هناك محتفظة بتماسكها لصلابة تكوينها الصخري مما ساعد على سرعة جريان المياه وبالتالي انخفاض زمن التركيز. وتراوحت قيم (Tc) في الأحواض الكبرى الشرقية (١ و ٢ و ٨ و ٩ و ١٠) بين (١ و ٢:٨ ساعة) ، بينما كانت قيم (Tc) أكثر انخفاضاً في غرب الحوض حيث تراوحت القيم بين (٥:٥ دقيقة و ١:٦ ساعة) للأحواض (٥ و ٦ و ٧ و ١٩ و ٢٣) ويعود انخفاض قيم (Tc) في غرب الحوض مقارنة بشرقه بالرغم من عدم وجود فروق كبيرة بين الأحواض في معدلات انحدارها ومعاملات تعرجها، إلا أن قصر أطوال الأحواض الغربية عموماً مقارنة بالأحواض الشرقية كان العامل المؤثر على انخفاض قيم (Tc) في غرب الحوض، وربما يعود قصر الأحواض الغربية في الأصل إلى انحراف مجرى الحوض عموماً في اتجاهه من الشرق إلى الجنوب مما أفسح المجال لنمو المجاري النهرية وزيادة أطوال الأحواض الشرقية وبالتالي فإن المياه تستغرق وقت أطول للوصول من أقصى الحوض إلى المخرج.

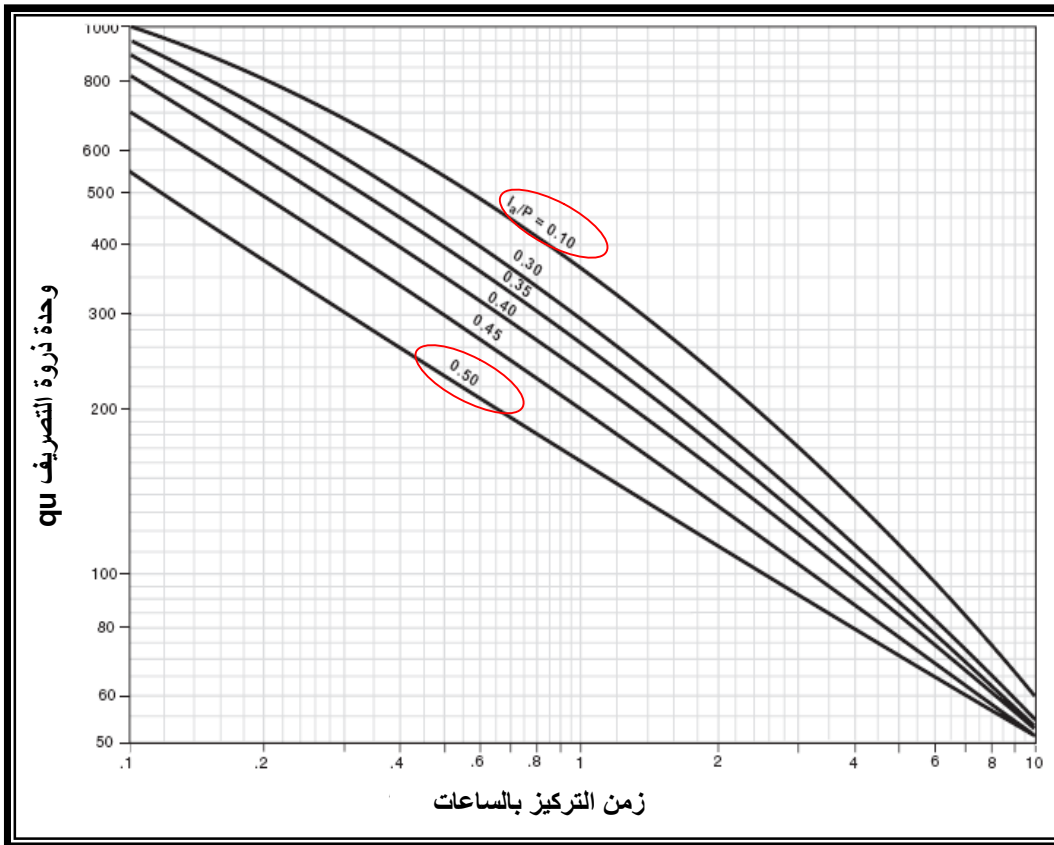
وفيما يتعلق بقيم (Ia/P) المحسوبة فقد تراوحت قيمها بين (٠,٠٤٤ و ٠,١٤٣)
ووجد أن ٦٨٪ من تلك القيم تقع خارج المدى في مخطط وحدة التصريف والذي تراوح بين
(٠,١٠ و ٠,٥٠) كما هو مبين في الشكل رقم (٣٥)، فكانت تلك القيم أقل من
(٠,١٠). وباعتبار أن قيم (Ia/P) ضرورية لاستخلاص قيم qu بدلالة زمن التركيز فإنه قد تعذر
استخلاصها من مخطط ذروة التصريف بالطريقة اليدوية؛ لذلك استعانت الباحثة بالحاسبة
الإلكترونية لموقع البروفيسور فيكتور بونس Victor Ponce من جامعة سان دييغو على الإنترنت
<http://ponce.sdsu.edu> وهو أحد أشهر المواقع الإلكترونية التي تقدم خدمات علمية في مجال
دراسات الهيدرولوجيا. والموقع يحتوي على العديد من النماذج الهيدرولوجية المشهورة المستخدمة
في مختلف التطبيقات الهيدرولوجية. وحول دقة النتائج المخرجة باستخدام الحاسبة الإلكترونية فقد
اختبرت الباحثة بعض النتائج المتحصل عليها من خلال الحاسبة الإلكترونية ومقارنتها بحسابات
الباحثة فكانت النتائج متطابقة تماماً. ويؤخذ على الحاسبة الإلكترونية أنها حددت المخرجات
الخاصة بنموذج مخطط قمة التصريف بنوع العاصفة المطرية، وقيمة (Ia/P)، وقيمة ذروة
التصريف qp، وأهملت إعطاء قيمة qu التي كانت سبباً في الاستعانة بها.

وقد حددت المتغيرات المطلوبة لحساب قمة التصريف في الحاسبة الإلكترونية كالتالي:
مساحة الحوض بالكيلومتر (A-km²)، والرقم المنحني الخاص بالحوض (CN)، وعمق المطر
بالستيمتر (P-cm)، وزمن التركيز بالساعات (Tc-hr)، وفترة الرجوع بالسنوات (T-Yr)،
ومعامل المستنقعات والبرك (Fp)، ونوع عاصفة المطر Storm type (USDA, 1986). مع
استبعاد عامل المستنقعات والبرك.

ثانياً: تقدير ذروة التصريف في الحوض الأعلى لوادي عرنة

تعرف قمة التصريف qp بأنها أعلى ارتفاع سيل منصرف من الحوض متوقع حدوثه
خلال العاصفة المطرية. وعادة ما تحدث قمة السيل قبل منتصف الفترة الزمنية للعاصفة المطرية
(درادكة، ١٩٩٩ م)، أي أن الفترة الزمنية الفاصلة بين بداية حدوث السيل وإلى أن يصل
لذروته قصيرة (غانم، ٢٠٠٨ م)، وتعتبر قمة التصريف عن حجم المياه المنصرفة عند مخرج

شكل رقم (٣٦) مخطط ذروة التصريف (qu) .



المصدر: USDA, 1986, 4-6.

الحوض منسوباً إلى وحدة الزمن. ولتقدير قمة ذروة التصريف للحوض الأعلى لوادي عرنة وأحواضه الجزئية فقد اختارت الباحثة عاصفة مطرية يبلغ عمقها ١٠٠ ملم واقعة بين العاصفة المطرية الاعتيادية ١٨ ملم وبين أعلى عاصفة مطر سجلت ١٩١ ملم.

ووفقاً لحسابات قمة ذروة التصريف للحوض الأعلى لوادي عرنة حسب طريقة (SCS) فقد بلغت قيمة qp للحوض ٤٠٩٥,٦ م^٣/ث، وهذا يعني أن كمية المياه المنصرفة خارج الحوض خلال نصف ساعة تقدر بنحو ٧٣٧٢٠,٨ م^٣، وتعتبر هذه الكمية كبيرة مقارنة بالعاصفة المطرية المنتقاة التي تمثل حالة وسطاً بين أدنى وأعلى هطول متوقع على الحوض خلال ٢٤ ساعة ولفترة رجوع مشاهدة بلغت ٣٩ سنة. مما يعكس أثر الطبيعة الجبلية للحوض وانحداراته الشديدة في سرعة توليد كميات عالية من المياه، بالإضافة إلى ضآلة الغطاء النباتي الذي يعد عامل مهم في إبطاء اندفاع المياه نحو مخرج الحوض، تلك المياه المندفعة تعمل على تعرية الطبقة السطحية للتربة وانجرافها وتكشف الصخور الأصلية في بعض أجزاء الحوض خاصة في النواحي الشرقية منه. كما أن الأجزاء قليلة الانحدار شبه المستوية في الحوض التي تشغل مساحات واسعة من وسطه تقريباً وحتى أدنى الحوض تعتبر من أكثر المواقع عرضة للغمر بمياه السيول.

ومن ناحية أخرى فلا يقتصر خطر كمية المياه المنصرفة من مخرج الحوض على ما تحدثه في داخل الحوض أثناء تحركها نحو المخرج، بل إن خطر تلك المياه يصل إلى المناطق الحضرية خارج الحدود الهيدروغرافية للحوض فجميع الطرق الواصلة بين عرفات والمزدلفة معرضة للغمر بمياه السيول مما قد يعرض مشعر عرفات للعزلة وقت حدوث سيول. يمثل هذا القدر. كما أن موقع مقر جامعة أم القرى بالعابدية في منطقة التقاء مياه وادي عرنة الأعلى بمياه نعمان يجعل مقر الجامعة عرضة لمخاطر السيول المندفعة من الشمال والشرق، وستصبح هي الأخرى في عزلة حيث ستؤدي مياه السيول إلى قطع جميع الطرق الواصلة بين الجامعة ومدينة مكة المكرمة كما أن المياه المندفعة لها قدرة على تدمير الأسوار والجسور في تلك الأنحاء. كذلك فإن مياه السيول المندفعة من الحوض ستعمل على إغلاق طريق مكة الطائف. بالإضافة إلى أن امتدادات المخاطر السيلية للوادي ستصل إلى منطقة الحسينية الواقعة على الضفة الشمالية لمجرى الحوض جنوب مدينة مكة مما يعرض سكان المنطقة وممتلكاتهم لخطر تدمير السيول.

جدول رقم (١٤) ذروة التصريف للحوض الأعلى لوادي عرنة وأحواضه الجزئية.

معامل التعرج	طول الحوض	الانحدار %	Tc	CN	qp m ³ s	المساحة	الحوض الجزئي
١,٣	٣٥	٢٦	٢,١	٩١	١٥١٠,١	٢١٣,٥٥٩٢	١
١,٤	٢٦,٢٣	٢٢	٢,٨	٨٩	٥٦٩,٥٧	١٠٧,٥٨٦	٢
١,٥	٢٠,٧٦	١١	٣,٧	٨٦	٢٩٠,٢٢	٧٥,٤٦٥٩	٣
١,٣	١٠,٧٦	٦	٣,٣	٨٣	٨٧,٥٢	٢٣,٣٢٨	٤
٢	٨,٩١	١٤	١,٦	٨٨	٩٨,٥٦	١٢,٨١٤٢	٥
١,٢	١١,٠٢	٢٦	١,٣	٨٩	١٨٣,٤٨	٢٠,٠٧٣٦	٦
١,٣	١٠,١٨	٢٢	١,٤	٨٧	٢٥٤,٧	١٣,٣٧٤	٧
١,٢	١١,٧٦	١٨	١,٧	٨٨	١٥٥,٤٣	٢١,٠٣٩٣	٨
١,١	١٣,٦٩	٢٦	١,٥	٨٩	١٤٥,٧٧	١٧,٥٤١	٩
١,٢	١٢,١٦	٢٠	١,٦	٨٩	٢٤٣,٩٧	٣٠,٦٤٥٩	١٠
١,١	٢,٩٣	٤	٠,٥	٨٣	٢٣,١٩	١,٧٩٩١	١١
١,٦	٤,٨٩	٩	١,٢	٨٦	١٦,٥٩	١,٩١٠٧	١٢
١,١	٢,٨٦	٩	٠,٦	٩٠	١٨,٩	١,٢٥٣٧	١٣
١	٢,٩٢	٢	١,٨	٧٨	٣,٦٨	٠,٧٨٤٨	١٤
١,٦	٤,٥٨	٩	١,٢	٨٥	٣١,٩٥	٣,٨١٤٢	١٥
١,١	٥,٢٤	٣	٠,٣	٧٨	٤٨,٦٥	٣,٧١٤٣	١٦
١,١	٣,٢٧	٩	٠,٩	٨٧	٢٥,٣٦	٢,٣٤٥٤	١٧
١,٢	٥,٩٩	٥	١,١	٨٦	٤٥,٦٧	٤,٩٦٤٤	١٨
١,٤	٥,٦٩	٢١	٠,٨	٩٠	٧٩,١١	٦,١٥٣٣	١٩
٠,٩	٢,٣٧	١	٢,٥	٧٨	٤,٢١	١,١٤٣	٢٠
١,٤	٩,٨٩	١١	٢,٤	٨٢	٣١,٨٢	٦,٩٣٩٩	٢١
٢,٢	٧,٨٩	٤	٣	٨٢	٢٧,٨٩	٧,٢٢٠٧	٢٢
١,٢	٣,٤٨	٢٥	٠,٥	٩٢	٥٨,٥٤	٣,٣٠٣٩	٢٣
١,١	٣	٢٢	٠,٥	٩١	٤٨,٣٩	٢,٨٢٣٣	٢٤
١,٤	٢٧,٢١	٧	٧	٨٣	٩٢,٣	٤٠,٢٩٩٣	٢٥
١,٦	٦٢	١٠	٦,٥	٨٨	٤٠٩٥,٦	٦٢٣,٨٩٧	مجمّل الحوض

المصدر: الباحثة

وعلى مستوى الأحواض الجزئية فإنه يتبين من الجدول رقم (١٤) تباين قيم qp المحسوبة للأحواض الجزئية حيث تراوحت بين ١٥١٠ م^٣/ث في حوض وادي الشرائع (١) و ٣,٦٨ م^٣/ث في الحوض رقم (١٤). ووجد أن الأودية الشرقية الكبرى في الحوض وهي أودية الشرائع والبجيدي، وككب ، وقرو كانت لها أعلى قيم qp وهذا يعود إلى كبر مساحتها، فقد ذكر راضي (١٩٩٢ م) بأن هنالك علاقة قوية بين حجم التصريف وكلاً من مساحة الحوض، وانحدار المجرى الرئيسي، وطول الحوض. وبالنسبة للعلاقة بين ذروة التصريف في الحوض الأعلى لوادي عرنة وطول الحوض فقد كانت موجبة قوية بلغت ٠,٧٩، ومتوسطة بالنسبة لانحدار المجرى ٠,٤١، أما العلاقة بين ذروة التصريف ومساحة الحوض فقد كانت علاقة موجبة طردية قوية جداً بلغت ٠,٩٧. حيث أن ذروة التصريف ترتفع بزيادة المساحة التجميعية للحوض. وفي المقابل فقد كان للاصمات أثر في رفع قيم ذروة التصريف لبعض الأحواض متجاوزاً في ذلك تأثير عامل المساحة، حيث لوحظ أن قيمة CN للحوض رقم (٥) بلغت ٨٨، ومساحة الحوض تقدر بنحو نصف مساحة الحوض رقم (٤) وذروة التصريف في الحوض رقم (٥) زادت بنحو ١١ م^٣/ث عن الحوض رقم (٤) الذي تبلغ فيه قيمة CN ٨٣، وبالتالي فإن هنالك علاقة طردية وإن كانت ضعيفة نسبياً بين قيم CNs وقيم qp بلغت ٠,٣٧، ولو كانت الأحواض متقاربة في مساحتها لبرز تأثير قيم CN في رفع قيم qp .

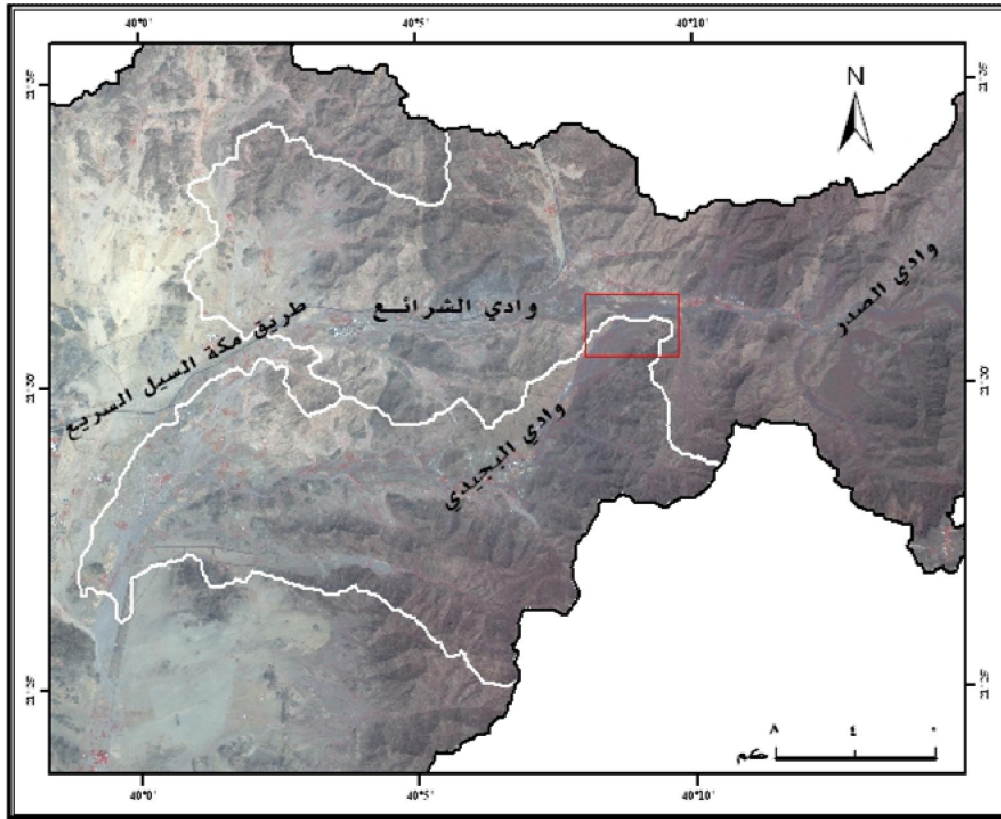
ويعتبر حوض وادي البجيدي من أهم الأحواض التي تشكل تهديداً سيلياً في الحوض الأعلى لوادي عرنة، فقد ورد ضمن تقارير السيول للدفاع المدني عن خطورة وادي البجيدي، وتسجيل حالات وفاة نتيجة الغرق في مياه الوادي. وقد تعزى أسباب خطورة وادي البجيدي إلى ضيق سهله الفيضي وصغر امتداده العرضي مقارنة بوادي الشرائع الذي شكل سهولاً فيضية أوسع نسبياً، كما أن مخرج وادي الشرائع يتسم باتساعه مما يعطي فرصة لتسرب المياه وتبخرها، بخلاف ما هو مشاهد في وادي البجيدي حيث يضيق الوادي عند مخرجه وفي أعلاه ولا يزيد أقصى امتداد عرضي لسهله الفيضي المستغل من قبل سكان قرية البجيدي في وسط الحوض عن ١,٤١ كم الأمر الذي يعجل بتجمع المياه في وسطه حيث يتركز السكان وتنتشر مزارعهم (شكل رقم ٣٦). ويتبين من الشكل رقم (٣٧) احتمالية تطور ظاهرة أسر فجري عند الروافد الشمالية لوادي البجيدي، ويستدل على ذلك من دخول الرواسب النهرية لوادي الشرائع إلى

شكل رقم (٣٧) ضيق مجرى وادي البجيدي وصغر مساحة سهل الفيضي .



المصدر: Google Earth, 2005

شكل رقم (٣٨) ظاهرة الأسر النهري المتوقع حدوثها في الحوض الأعلى لوادي عرنة.



المصدر: الباحثة.

الإطار الأحمر يبين مكان الأسر النهري المتوقع حدوثه، حيث يلاحظ انتقال الرواسب النهرية لوادي الشرائع ودخولها إلى وادي البجدي نتيجة لنشاط حت المجاري العليا لوادي البجدي.

وادي البجيدي، وبالتالي فإنه من المتوقع أن يأسر وادي البجيدي ما يقارب نصف المساحة الحالية لوادي الشرائع. والخطورة الناتجة عن تلك الظاهر الجيومورفولوجية تتمثل في الزيادة المفاجئة لكمية المياه المنصرفة إلى وادي البجيدي، مما يؤدي إلى ارتفاع كمية المياه في الحوض خاصة في القطاع الأوسط منه حيث قرية البجيدي الواقعة في مواجهة مياه السيول المندفعة من شمال الحوض، وسكان قرية البجيدي يعانون من تكرار الأضرار التي تلحق بمزارعهم ومنازلهم بسبب السيول مما جعلهم يعمدون إلى بناء منازلهم على سفوح الجبال بعيداً عن مجرى السيل وسهله الفيضي. وبالإضافة إلى ما سبق فإنه في حال حدوث الأسر النهري فإن المياه ستستغرق للوصول من أبعد نقطة في الحوض مدة أطول مما هي عليه الآن حتى تصل إلى مخرج الحوض وسينعكس أثر ذلك على الأجزاء الوسطى والجنوبية من وادي البجيدي التي ستصبح أشد تأثراً بمياه السيول.

وبالاحظ أن جميع المواقع السكنية في الحوض الأعلى لوادي عرنة ابتداءً من القرى الصغيرة في الصدر والبجيدي وشرائع النخيل وحتى مخططات الشرائع تقع على ضفاف الأودية وضمن المسارات الطبيعية لتدفق للمياه، وقد ورد في تقرير للسيول أن أحياء الشرائع كانت ضمن أكثر المواقع تضرراً بمياه الأمطار (الدفاع المدني، ١٤٢٤هـ)، فكثيراً ما شهدت منطقة الشرائع تجمع مياه الأمطار في الشوارع الرئيسة وفي داخل الأحياء بين المباني السكنية (لوحة رقم ١)، وخطر المياه المجتمعة لا يقتصر على إغلاق الشوارع والطرق الرئيسة واحتجاز السكان داخل منازلهم لساعات بل إن المياه قد تكون سبباً في إضعاف البنية التحتية، وأساسات المباني، وجرف أجزاء من الطرق الإسفلتية. ولا يقتصر الخطر على المخططات المعمورة بل إن المخططات الجديدة كمخطط الجفري والراشدية ودرة الشرائع التي لم تشهد توسعاً في البناء واقعة هي الأخرى ضمن مناطق خطر سيول. فمخطط الجفري الواقع إلى شمال طريق مكة السيل السريع يقع في منطقة المخرج لوادي البرود المنحدر من أقصى شمال الحوض فيما يغلق طريق مكة السيل بارتفاع نحو ثلاثة أمتار عن سطح الأرض مجرى الوادي وبالتالي ستغمر المياه الأجزاء الجنوبية من المخطط الأقل انحداراً حيث لا يزيد انحدارها عن درجة واحدة. كما تشهد منطقة المغمس قيام المخططات السكنية كمخطط الراشدية (٢) الواقع على مخرج وادي الحجاز (شكل رقم ٣٨) و الراشدية (١). إضافة إلى انتشار البناء في أراضي المنح الخاصة بالسكان من أهالي المغمس. ومنطقة المغمس مهمة جداً فهي تستقبل مياه جبل كبكب المنصرفة عن طريق أودية الحجاز،

لوحة رقم (١) تجمع مياه السيول واعاقة حركة السير في شارع ٦٤ بالشرائع.



المصدر: الدفاع المدني.

لوحة رقم (٢) تجمع مياه السيول في المغمس.



المصدر: الدفاع المدني.

شكل رقم (٣٩) منظر مجسم لموقع مخطط الراشدية ٢ على مخرج وادي المجاز.

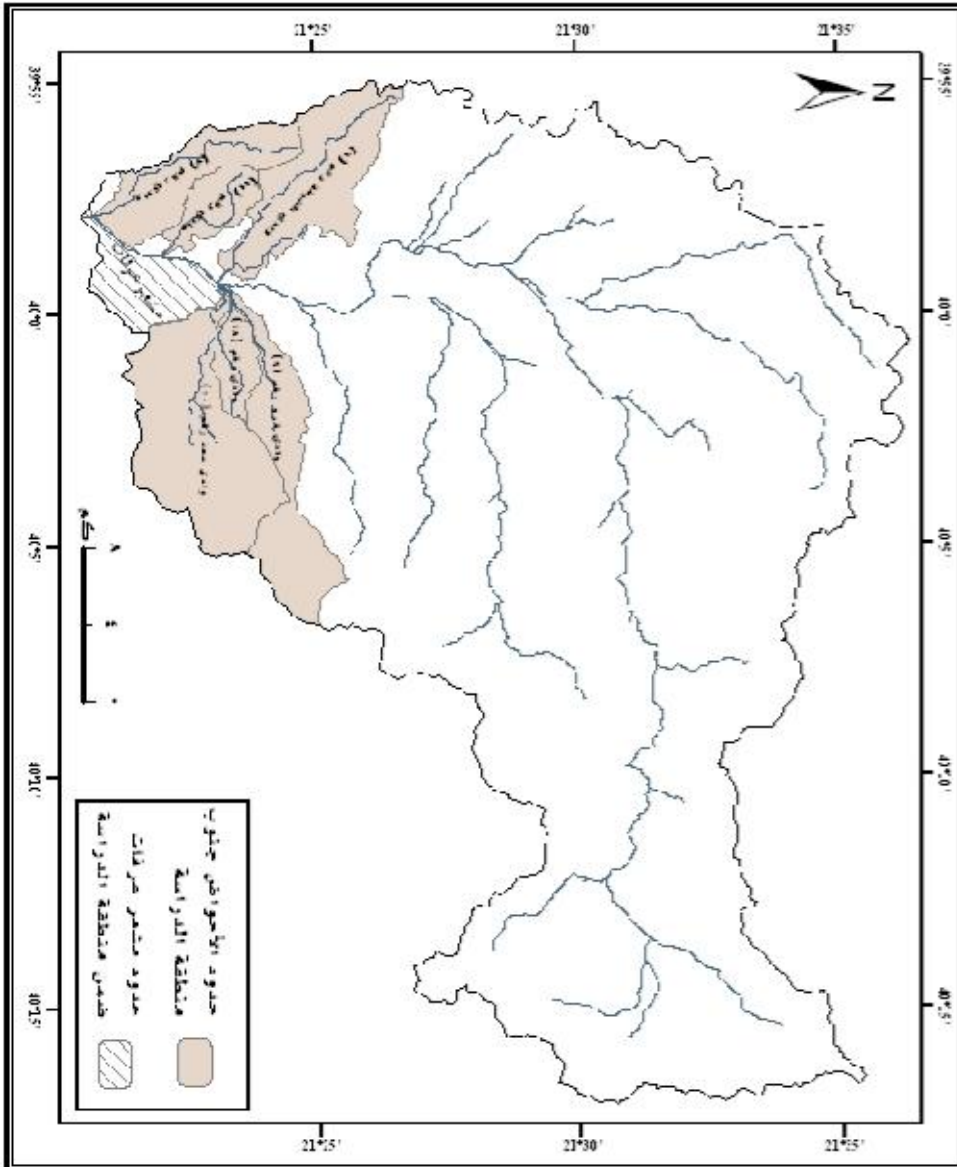


المصدر: Google Earth, 2007

وكبك، وقرو، وسعد بالإضافة إلى الأحواض الصغيرة الأخرى (لوحة رقم ٢)، وهي منطقة شبه دائرية محصورة بين جبل كبك من الشرق والمجرى الرئيسي لوادي عرنة من الغرب، وتبلغ قيمة CN لمنطقة المغمس ٨٣ وهي قيمة عالية، كما أنها قابلة للزيادة مع استمرارية الرصف والبناء فقد تصل إلى أكثر من ٩٠ مما يضاعف من خطورة ازدياد كمية المياه المتولدة والمنصرفة ناحية مشعر عرفات، فمنطقة المغمس تشهد حالياً نشاط متسارع في عمليات الرصف والتعمير وتمديد خدمات البنى التحتية.

ويعتبر مشعر عرفات من أكثر أجزاء الحوض الجنوبية عرضة للمخاطر السيلية. فكما تبين سابقاً فإن هنالك أربعة أودية تغذي القناة الرئيسة للحوض قبيل بداية عرفات وتلتقي في منطقة واحد تقريباً، وهي أودية قرو وسعد والوادي رقم (١٨) من ناحية الشرق، ووادي الضيقة المنحدر من جبل الطارقي من الغرب، ولا توجد مسافات كبيرة تفصل بين مخارج تلك الأودية، فأقصى مسافة تفصل بينها لا تزيد عن ٩١ متر، أما مخرج وادي الضيقة فيقع على بعد ١٠٣ م من مخرج وادي سعد (شكل رقم ٣٩)، وبالتالي فإن نقطة التقاء تلك الأودية تعد من أشد المواقع خطورة في جنوب الحوض، حيث تقدر قيمة (qp) للأودية مجتمعة بنحو ٦١٩ م^٣/ث، ومنطقة التقاء الأودية السابقة لا تبتعد عن الحافة الشمالية لمشعر عرفات بأكثر من ١٥٠ م مما يجعل الأجزاء الشمالية لمشعر عرفات معرضة لخطر مياه السيول، بالإضافة إلى إسهام القنوات المائية الصغيرة التي تصب مباشرة في المجرى الرئيسي للحوض مما يؤدي إلى تزايد كمية المياه المنحدرة نحو عرفات. وقريباً من وسط مشعر عرفات تنحدر مياه جبل الشعراء في واديين يبعد الأعلى منهما نحو ٢ كم عن منطقة التقاء الأودية السابقة وهو الوادي رقم (١٩) الموازي للطريق رقم (٩) وبالتالي سيصبح الطريق الإسفلتي أخفض نقطة تتجه إليها المياه المنحدرة من السفوح نحو مشعر عرفات. أما الوادي الآخر فيصرف معظم مياه جبل الشعراء حيث بلغت قيمة (qp) ٤٥٥ م^٣/ث. ومما سبق نجد أن الأودية السابقة تعتبر من أهم الأودية في الحوض من حيث الخطورة نظراً لكبر مساحتها عموماً، وارتفاع مستوى صماتها حيث لا تقل قيمة CN في أي منها عن ٨٧ ، ولقربها من بعضها حيث تقدر المسافة بين أعلاها وادي قرو وأدناها الوادي رقم (٧) بنحو ٦ كم، والمنطقة المحصورة بين تلك الأودية الممثلة للمجرى الرئيس للحوض تعد منطقة حيوية هامة خلال موسم الحج حيث تخترقها شبكة الطرق الواصلة بين عرفات والمزدلفة،

شكل رقم (٤٠) مواقع الأودية الجنوبية بالنسبة لمشعر عرفات .



المصدر : الباحث.

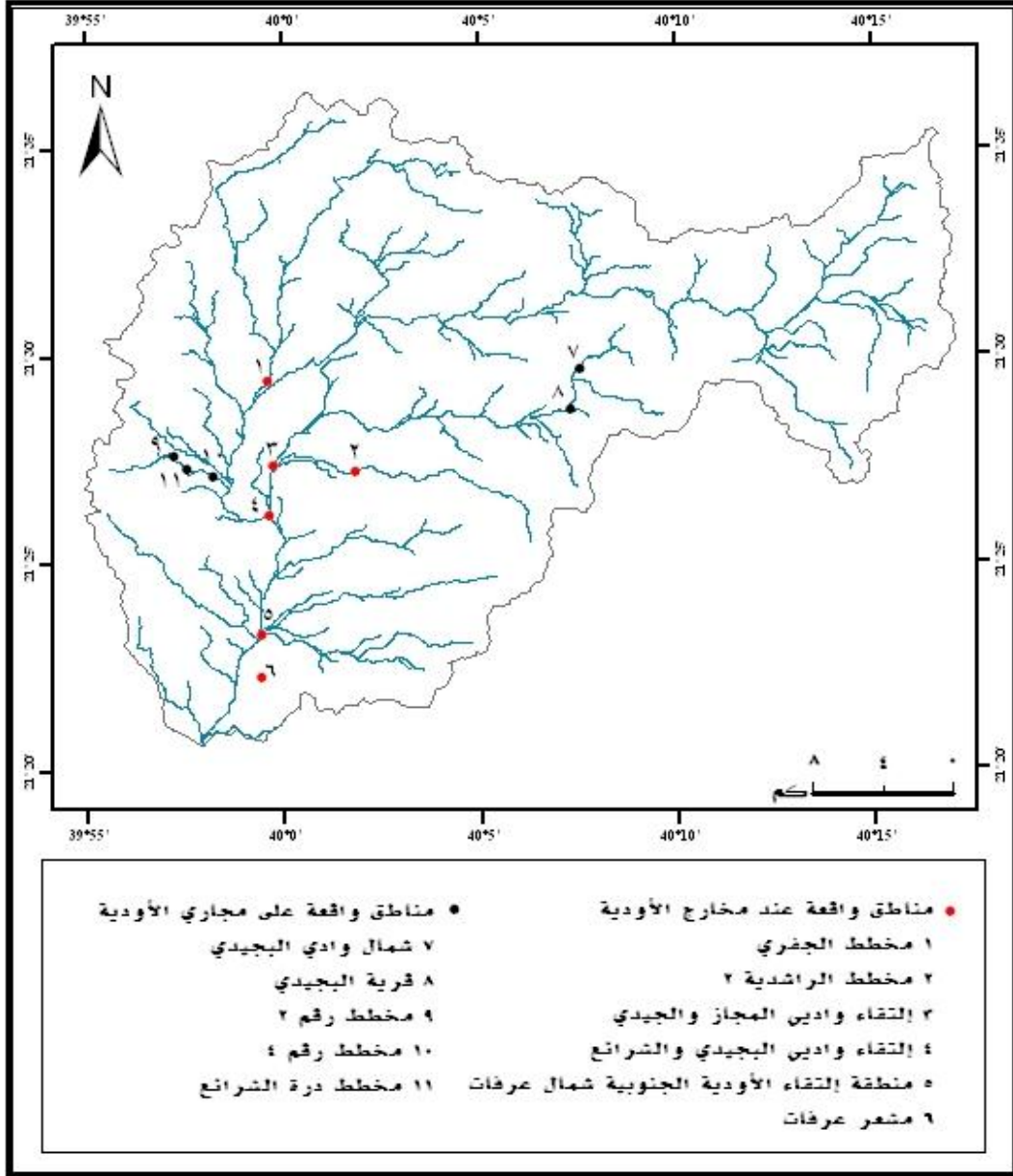
ومدينة مكة المكرمة فأى تجمع للمياه سيعزل مشعر عرفات بشكل تام ويجعل حياة الحجاج عرضة للخطر، وممتلكاتهم للتلف، فخلال حج ١٤٣٠هـ أتلفت مياه السيول مخيمات الحجاج في مشعر عرفات (<http://www.alwasatnews.com>)، حيث قدرة كمية التساقط على عرفات خلال ساعتين بنحو ٢١ ملم.

وكما أن قمة التصريف ترتبط بعلاقة موجبة قوية مع المساحة فإنها كذلك ترتبط بعلاقة طردية قوية مع الأمطار فمن خلال تقدير قمة التصريف لست عواصف مطرية افتراضية ابتداءً من ٦٠ مم وحتى ٢٠٠ مم أمكن تحديد اتجاه العلاقة وقوتها حيث بلغ معامل الارتباط ٠,٨٤ ، أي أنه كلما زادت كمية الأمطار الساقطة ارتفعت قمة التصريف، والعكس صحيح فكلما انخفضت كمية الأمطار الساقطة انخفضت قمة التصريف للأحواض المائية باعتبار أن جميع العوامل الأخرى ثابتة، ولو حدث أي تغيير في الخصائص الطبيعية لأحواض التصريف فإن ذلك قد يكون له تأثير في إضعاف قوة العلاقة بين الأمطار وقمة التصريف؛ لأن النموذج المستخدم حساس لقيمة qp المخرجة نظراً لحساسية تقدير قيمة qu (USDA, 1986).

وخلاصة لما سبق فإنه يمكن تصنيف المواقع الأكثر عرضة لمخاطر السيول في الحوض الأعلى لوادي عرنة ضمن مجموعتين، وتشتمل المجموعة الأولى على تلك الأماكن الواقعة عند مخارج الأودية، وهي الأكثر خطورة؛ لوقوعها في مواجهة السيول المندفعة من مخارج الأودية. ويبلغ عدد المواقع الخطرة ضمن هذه المجموعة ست مواقع مبينة في الشكل رقم (٤١) وهي:

١- يقع مخطط الجفري عند مخرج وادي البرود ويغلق المخطط من ناحية الجنوب طريق مكة السيل السريع مما يساعد على تجمع مياه السيول المنحدرة من أقصى شمال الحوض في الأجزاء الجنوبية من المخطط سوى ما ينصرف من عبارات المياه الضيقة المحجوزة برصيف إسمنتي يصل ارتفاعه نحو ٢٥ سم.

شكل رقم (١٤) المواقع المعرضة لخطر السيول في الحوض الأعلى لوادي عرنة.



المصدر: الباحثة.

٢_ يقع مخطط الراشدية رقم (٢) على مخرج وادي الحجاز مما يجعل موقع المخطط في مواجه مباشرة للمياه المنحدرة من المرتفعات الجبلية خاصة وأن الوادي لا يتسم بشدة تعرجه مما يضعف فرص الفقد بالتسرب والتبخر على طول مجرى الوادي.

٣_ منطقة التقاء وادي البجيدي بوادي الحجاز تعد من أكثر المواقع خطورة لتجمع مياه الواديين في مناطق تكثر فيها الحيزات الزراعية، ويخترقها طريق المغمس.

٤_ منطقة التقاء وادي البجيدي بوادي الشرائع وهي كسابقتها من حيث استغلال ضفاف الأودية في الزراعة، كما تخترقها الطرق، وبالقرب منها يقع مطار عرفات.

٥_ منطقة التقاء الأودية الجنوبية شمال مشعر عرفات، حيث تشكل تلك الأودية تهديداً مباشراً على عرفات.

٦_ تحيط الأودية والمرتفعات الجبلية بمشعر عرفات من جميع الجهات تقريباً، فمن ناحية الشرق تنحدر مياه جبل سعد، ومن الشمال تجتمع أربعة أودية في نقطة واحدة ثم تنحدر صوب عرفات، ومن الغرب يستقبل المياه المنحدرة من جبل الشعراء.

أما المجموعة الثانية فهي تشتمل على المناطق الواقعة على ضفاف الأودية، فهي نقاط عبور المياه السيول. وتضم خمسة مواقع أجملت في فقرتين على النحو الآتي:

١_ تعتبر منطقة حوض وادي البجيدي من أكثر المناطق عرضة للغمر بمياه السيول وخطر انجراف التربة خاصة في أعلى الحوض ووسطه. حيث تندفع المياه من السفوح الشمالية الغربية والسفوح الجنوبية الشرقية وتأخذ اتجاهها جنوبياً غربياً ناحية مخرج الحوض مارة بقرى البجيدي في وسط الحوض حيث يقع التركيز السكاني وقوى الاستثمار المحلي لسكان الوادي، ثم يضيق مجرى الوادي مما يساعد على ارتفاع عمق السيل وحدوث الفيضان في مناطق السهول الفيضية.

٢_ تعتبر المخططات (٤) و (٢) ومخطط درة الشرائع من أكثر مخططات الشرائع عرضة لمخاطر السيول فهي تقع في منطقة عبور المياه القادمة من شرق الحوض وشماله.

الفصل الخامس

الخاتمة ومناقشة النتائج

تمهيد:

تناولت هذه الدراسة تقدير الجريان السطحي في الحوض الأعلى لوادي عرنة بوسائل الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية من خلال تطبيق نموذج الأرقام المنحنية للجريان السطحي Runoff Curve Number Method بناءً على وحدة الخلية مروراً بالأحواض الجزئية فالحوض ككل. كذلك طبقت الدراسة نموذج مخطط قمة التصريف Graphical Peak Discharge Method لحساب قمة التصريف للأحواض الجزئية وللحوض ككل للكشف عن المخاطر السيالية في الحوض.

وما يلي هو عرض ومناقشة لأهم النتائج التي خلصت لها الدراسة:

١. إن للغطاء الأرضي تأثيراً مباشراً على هيدرولوجية الحوض الأعلى لوادي عرنة في جعل القيم المنحنية عالية، حيث بلغ متوسط القيمة المنحنية للحوض ٨٨، بينما تراوحت القيم الدنيا والعليا بين ٥٥ و ٩٨ وجميع تلك القيم مرتفعة تزيد عن قيمة الوسيط للأرقام المنحنية البالغة ٥٠. بالإضافة إلى أن ما نسبته ٥٦ ٪ من مساحة الحوض هي عبارة عن أسطح شديدة الصماتة لا تقل فيها قيمة CNs عن ٩٠، مما أدى إلى سرعة توليد جريان سطحي مرتفع في الحوض.

٢. إن ما يزيد عن نصف مساحة الحوض المشغولة برقم المنحنى ٩٣ الممثلة لمناطق المرتفعات الجبلية هي مناطق نشأة وترحيل لمياه الجريان السطحي، فارتفاع قيمة الاصمات مع ضعف التغطية النباتية وارتفاع معدلات الانحدار، وانخفاض الفواقد بالتسرب، أسهمت في ارتفاع قيم الجريان السطحي وسرعة تدفق المياه من جميع أنحاء الحوض المشغولة بالغطاء الجبلي لتجتمع في وسط الحوض ثم تتجه وفق الانحدار العام ناحية الجنوب مما يشكل خطورة كبيرة على مشعر عرفات.

٣. أظهرت قيمة الوسط الحسابي للمعامل S البالغة ٣٥ ملم ضعف الإمكانية القصوى للحوض في الاحتفاظ بالماء بعد بدء الجريان السطحي، وتعتبر هذه القيمة عن خطورة

الوضع الهيدرولوجي في الحوض فهي من أهم المؤشرات الدالة على سرعة استجابة الحوض للجريان السطحي.

٤. تبين من خلال تقدير الجريان السطحي لعاصفة مطر اعتيادية بلغت ١٨ ملم، وعاصفة مطر متطرفة بلغت ١٩١ ملم، وتقدير الجريان السطحي السنوي بناءً على خطوط المطر المتساوي للمعدلات السنوية، أن أعلى جريان سطحي يتولد من العاصفة المطرية المتطرفة يوازي أعلى جريان سطحي سنوي. كما تبين أن أعلى جريان سطحي يحدث من عاصفة المطر الاعتيادية يماثل أقل جريان سطحي يحدث خلال سنة. وبالتالي فإن العواصف المطرية المتطرفة لها قدرة على توليد جريان سطحي خلال ٢٤ ساعة يوازي ما يحدث خلال سنة، وأشد أجزاء الحوض صماتة والتي ساهمت في توليد أعلى جريان سطحي من العاصفة الاعتيادية يقابلها جريان سطحي مماثل لأكثر أجزاء الحوض مسامية ناتج عن الجريان السطحي السنوي. إن هذه المقارنة بين نواتج الجريان السطحي كشفت عن خطورة العواصف المطرية الفجائية المتطرفة التي يصعب التكهّن بزمن حدوثها ومقدار عمقها والوقت الذي تستغرقه من بداية حدوثها وحتى انتهائها خاصة وأن السجلات المطرية لا تحتوي على معلومات تفصيلية تتعلق بالفترة الزمنية التي تستغرقها العاصفة المطرية.

٥. من خلال دراسة الجريان السطحي على مستوى الأحواض الجزئية وجد أن حوضي الشرائع والبجيدي من أهم الأحواض الجزئية في الحوض الأعلى لوادي عرنة المغذية للقناة الرئيسة بمياه الجريان السطحي، حيث قدر إسهامهما بما نسبته ٥٧٪ من مجموع الجريان السطحي في الحوض.

٦. كشف معامل ارتباط بيرسون عن علاقة طردية موجبة قوية جداً بين كمية الأمطار الساقطة والقيم المنحنية والجريان السطحي، حيث تراوحت معاملات الارتباط بين ٠,٨٨٪ عند رقم المنحني ٥٥، و ٠,٩٩٪ عند رقم المنحني ٩٨، حيث أنه كلما زادت كمية الأمطار وارتفعت قيمة CN ارتفعت قيم الجريان السطحي في الحوض.

٧. بلغ حجم الجريان السطحي المتشكل في الحوض الأعلى لوادي عرنة من موجة مطر ١٨ ملم ٢,٦ مليون متر مكعب، في حين بلغ حجم الجريان السطحي السنوي ٧٧ مليون متر مكعب. وتعكس هذه القيم قدرة الحوض على توليد جريان سطحي مرتفع يمكن الاستفادة منه عوضاً عن إهماله ليشكل خطراً على سكان الحوض.

٨. وبدراسة المخاطر السيلية في الحوض الأعلى لوادي عرنة على مستوى الأحواض الجزئية وجد أن الأحواض الجنوبية وهي: حوض وادي قرو (رقم ٩) وحوض وادي سعد (رقم ١٠) والحوض رقم (١٨) التي تنبع من جبل كبكب وجبل سعد ناحية الشرق، وحوض وادي الضيقة (رقم ٦) الذي ينبع من جبل الطارقي ناحية الغرب تلتقي في منطقة واحدة تقع إلى الشمال من مشعر عرفات، ونقطة التقاء تلك الأودية هي نقطة تجمع للمياه والتي فهي تشكل تهديداً خطيراً على مشعر عرفات، ولا يقتصر الخطر الذي يهدد مشعر عرفات على مياه الأودية الشمالية بالنسبة لعرفات بل تشاركها مياه الوادي رقم (١٩) الذي يوازي منتصف عرفات تقريباً، والوادي رقم (٧) في أدنى الحوض ويبلغ مجموع قمة التصريف لتلك الأودية ٩٥٤ م^٣/ث هذه المياه لها قدرة على غمر مشعر عرفات وإلحاق أضرار بالغة، كما أنها تشكل خطراً على حياة حجاج بيت الله الحرام أثناء وجودهم في عرفات. ومما تجدر الإشارة إليه أن هنالك من الدراسات المناخية ما أكد تزامن موسم هطول الأمطار على مدينة مكة المكرمة مع مواسم الحج (أحمد، ٢٠٠١م) كما أن تقارير الدفاع المدني أشارت إلى تزايد معدلات الهطول على مكة المكرمة خلال السنوات الماضية ابتداءً من عام ١٩٩٥م وحتى ٢٠٠٣م.

٩. وتبين من دراسة المخاطر السيلية على مستوى الأحواض الجزئية أن وادي البجيدي يعتبر من أكثر الأحواض عرضة للمخاطر السيلية؛ فالمناطق السهلية في الحوض لا يزيد أقصى اتساع لها عن ١,٤١ كم، كما يتسم الحوض بضيق سهله الفيضي في قطاعه الأعلى والأسفل مما يؤدي إلى انحسار المياه وبطء تحركها في قطاعه الأوسط المأهول بالسكان والزراعة مما يعرض حياة سكان قرية البجيدي لخطر السيول.

١٠. إن مخططات الشرائع الجنوبية الواقعة في غرب الحوض تقع ضمن مجاري الأودية المنحدرة من شمال الحوض ومن شماله الغربي (مدرجة والبرود وأم ليلي)، فمخططات ٢ و ٤ ودرة الشرائع هي الأكثر تأثراً بمياه السيول. كذلك الحال بالنسبة للمخططات الحديثة كمخططات الراشدية والجفري فهي في مواجهة مباشرة مع مياه السيول المنحدرة من المرتفعات الجبلية، فالنواحي الجنوبية من مخطط الجفري الواقع إلى الشمال من طريق مكة السيل السريع محصورة بين الأجزاء الشمالية من المخطط الأكثر ارتفاعاً (٤٤٠ م) وبين طريق مكة السيل السريع جنوباً الذي يرتفع قرابة ثلاثة أمتار عن مستوى الأراضي المخصصة للبناء السكني وبالتالي فإن الأجزاء الجنوبية من المخطط عرضة للغمر بمياه السيول.

١١. من خلال هذه الدراسة أمكن تصميم مخطط تنبؤي للجريان السطحي بدلالة القيم المنحنية المستخلصة للحوض وقيم محتملة للعواصف المطرية. ويكمن الاستفادة من ذلك المخطط التنبؤي في معرفة عمق الجريان السطحي المتشكل في أي ناحية من الحوض. مع التأكيد على أن هذا المخطط قد لا يكون صالح للأوضاع التي تبعد في خصائصها الطبيعية والبشرية عن منطقة الدراسة، لأن النموذج الرياضي المستخدم حساس جداً لأي تغير يطرأ على غطاءات الأرض من خلال القيم المنحنية باعتبارها العامل المؤثر في ارتفاع قيم الجريان السطحي أو انخفاضه.

١٢. أمكن من خلال الاستعانة بتقنيتي الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية بناء قواعد بيانات تفصيلية دقيقة للخصائص المورفومترية والهيدرولوجية وغطاءات الأرض واستعمالها للحوض الأعلى لوادي عرنة على أساس وحدة الخلية، والأحواض الجزئية، والحوض ككل، كما تم بناء قواعد بيانات مماثلة بناءً على ما تشغله كل قيمة من القيم المنحنية من مساحة الحوض. إن قواعد البيانات تلك يمكن الاستعانة بها والاستفادة منها لأي دراسة في مجال الجغرافيا الطبيعية أو البشرية لمنطقة الدراسة.

وعلى ضوء ما خرجت به الدراسة من نتائج فإنها خلصت إلى جملة من التوصيات التي ترى ضرورة الأخذ بها وهي على النحو الآتي:

١. تحتاج منطقة الشرائع إلى إنشاء قنوات لتصريف مياه السيول خاصة لمخططات ٢ و ٤ ومخطط درة الشرائع نظراً لوقوعها في مناطق تجمع مياه السيول، حيث تحتاج تلك المخططات إلى اتخاذ عدة تدابير تمنع تجمع المياه ضمن محيطها كإقامة السدود أو إنشاء قنوات لتصريف المياه.

٢. الاستفادة من مكونات البيئة الطبيعية في عرقلة اندفاع مياه أودية سعد و قرو والوادي رقم (١٨) ووادي الضيقة المتجهة ناحية مشعر عرفات وتحويل مسارات تلك الأودية قبل تجمعها شمال مشعر عرفات.

٣. ضرورة الحفاظ على الغطاء النباتي في منطقة المغمس، حيث أنه مع زيادة مساحة الغطاء النباتي تنخفض كمية مياه الجريان السطحي. كما توصي الدراسة بضرورة إيقاف التوسع العمراني الحاصل في المغمس فالقيمة المنحنية للمغمس في ظل ظروفه الطبيعية والبشرية الحالية تبلغ (٨٧) ومع زيادة التوسع العمراني وزيادة الرصف فإنه من المتوقع أن ارتفاع القيمة المنحنية إلى ما يزيد عن (٩٠) وهذا التغير في البيئة الطبيعية لسهل المغمس واصطبأغها بالصبغة المدنية يشكل خطراً على مشعر عرفات؛ لأنه مع ارتفاع القيم المنحنية يرتفع الجريان السطحي وبالتالي فإن جميع المياه المنحدرة من جبل كبكب ستتجه مباشرة إلى مشعر عرفات.

٤. نظراً لأهمية الحوض الهيدرولوجية فإنه من الضروري إنشاء محطات مطرية لقياس عنصر المطر من أجل بناء قاعدة بيانات مطرية تفصيلية متينة يمكن الاعتماد عليها في الدراسات المناخية والهيدرولوجية لمنطقة الدراسة.

٥. ضرورة التعجيل في إنشاء شبكة الصرف الصحي في الأحياء والمخططات؛ حتى لا يرتفع منسوب المياه الجوفية فيقلل فرص تسرب مياه الأمطار مما يجعل حدوث الجريان السطحي وارتفاع كميته.

٦. زيادة أعداد عبارات تصريف مياه الأمطار في الجزء الجنوبي من مخطط الجفري لمنع تجمع المياه في جنوب المخطط.

٧. ضرورة تكاتف الجهات المعنية بسلامة المواطنين من أجل إنشاء نظام الإنذار المبكر لتنبيه سكان مدينة مكة المكرمة عند توقع هطول أمطار غزيرة، وربطه بوسائل الإعلام المرئية والمسموعة، أو عن طريق الرسائل النصية في الهواتف الخلوية.

٨. تطبيق مفهوم إدارة الأحواض المائية وحصاد المياه للاستفادة من مياه الأمطار في تغذية المخزون الجوفي، أو زيادة رقعة الغطاء النباتي في الحوض من ناحية ولدراء أحطار السيول من ناحية أخرى.

٩. ضرورة إجراء المزيد من الدراسات المتعلقة بالجريان السطحي ومخاطر السيول لمدينة مكة المكرمة وضواحيها بالاعتماد على تقنيي الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لما لهما من دور مهم في الوصول إلى نتائج غاية في الدقة على المستوى المكاني، أي على مستوى وحدة الخلية.

١٠. إجراء دراسة أخرى مشابهة تهتم بالجريان السطحي من حيث نوعية مياه الجريان السطحي وقياس أثرها من حيث التعرية النهرية للتربة، ومخاطرها على القطاع الزراعي والحضري.

المراجع

أولاً: المراجع العربية

أ _ الكتب والأبحاث والرسائل العلمية

١. أبو صفت، محمود (٢٠٠٨م)، أخطار الفيضان في الضفة الغربية: فلسطين، بحث مقدم إلى ندوة إدارة الكوارث وسلامة المباني في الدول العربية، وزارة الشؤون البلدية والقروية، بتاريخ (٢١-٢٤/٤/١٤٢٩هـ)، الرياض.
٢. أحمد، بدر الدين (١٩٩٢م)، مناخ مكة المكرمة، سلسلة بحوث العلوم الاجتماعية، معهد البحوث العلمية وإحياء التراث الإسلامي، جامعة أم القرى، مكة المكرمة.
٣. أحمد بدر الدين (١٩٩٧م)، مناخ الطائف، سلسلة بحوث العلوم الاجتماعية، معهد البحوث العلمية وإحياء التراث الإسلامي، جامعة أم القرى، مكة المكرمة.
٤. الأحيدب، إبراهيم سليمان (٢٠٠٠م)، المخاطر الطبيعية في المملكة العربية السعودية، ط٢، الأحيدب، الرياض.
٥. الأحيدب، إبراهيم سليمان (بدون تاريخ)، الكوارث الطبيعية وكيفية مواجهتها، الأحيدب، الرياض.
٦. الأزرقى، أبو الوليد محمد بن عبد الله (٢٠٠٢م)، أخبار مكة وما جاء فيها من الآثار، الطبعة العاشرة، مكتبة الثقافة، مكة.
٧. الثمالي، محمد مصلح (١٩٩٧م)، إمكانية التنمية الاجتماعية والاقتصادية في منطقة مركزي الزيماء والمضيق بمنطقة مكة المكرمة، مركز فقيه للأبحاث والتطوير، مكة المكرمة.
٨. آل سعود، مشاعل محمد (٢٠٠٤م)، تطبيق تقنيات الاستشعار عن بعد في مراقبة زحف الكثبان الرملية في واحة الإحساء، بحث قدم إلى الندوة الجغرافية الثامنة المنعقدة في جامعة أم القرى بتاريخ (١١-١٣ / ١ / ١٣٢٥هـ)، مكة المكرمة.
٩. آل الشيخ، عبد الملك بن عبد الرحمن (٢٠٠٦م)، حصاد مياه الأمطار والسيول وأهميته للمواد المائية في المملكة العربية السعودية، بحث مقدم إلى المؤتمر الدولي الثاني للموارد

المائية والبيئة الجافة، مركز الأمير سلطان لأبحاث البيئة والمياه والصحراء، بتاريخ
(٦-٩/١١/١٤٢٧هـ)، الرياض.

١٠. آل الشيخ، عبد الملك بن عبد الرحمن (٢٠٠٨م)، مشروع الملك فهد لحصاد وخرن مياه
الأمطار والسيول بالمملكة، مركز الأمير سلطان لأبحاث البيئة والمياه والصحراء، الرياض.
١١. بالخير، خالد سعيد (٢٠٠٨م)، نمذجة تدفق المياه السطحية للتنبؤ بحدوث سيول مدمرة
وتصميم نظام إنذار مبكر لإدارة الطوارئ، بحث مقدم إلى ندوة إدارة الكوارث وسلامة
المباني في الدول العربية، وزارة الشؤون البلدية والقروية، بتاريخ
(٢١-٢٤/٤/١٤٢٩هـ)، الرياض.

١٢. بامفلح، سمير محمد (٢٠٠٢م)، الاستخلاص التلقائي للأحواض والمجاري المائية لبعض
الأودية في منطقة مكة المكرمة، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم علوم وإدارة موارد
المياه، كلية الأرصاد والبيئة وزراعة المناطق الجافة، جامعة الملك عبد العزيز. جدة.
١٣. البصيلي، أحمد مصطفى و مظفر محمود (بدون تاريخ)، المعادن والصحور، وزارة التعليم
العالي والبحث العلمي، الجمهورية العراقية.

١٤. البلادي، عاتق غيث (١٩٨٣م)، معالم مكة التاريخية والأثرية، دار مكة، مكة المكرمة.
١٥. بوروبة، محمد فضيل، وطه عثمان الفرا (٢٠٠٨م)، تقدير تدفق الذروة لسيول روافد
وادي حنيفة الداخلة على غرب مدينة الرياض في المملكة العربية السعودية، بحث مقدم
إلى ندوة إدارة الكوارث وسلامة المباني في الدول العربية، وزارة الشؤون البلدية
والقروية، بتاريخ (٢١-٢٤/٤/١٤٢٩هـ)، الرياض.

١٦. التركماني، جودة فتحى (٢٠٠٢م)، جغرافية الأخطار والكوارث الطبيعية، دار الثقافة
العربية، القاهرة.

١٧. الجعيدى، فرحان (٢٠٠٥م)، استخدام صور الاستشعار عن بعد الرقمية عالية الوضوح
المكاني لتحديد امتداد فيضانات السيول في سهل الخرج، الجمعية الجغرافية السعودية،
الرياض.

١٨. الجعيدى، فرحان (٢٠٠٥م)، مراقبة التغير في اتجاهات مجاري الأودية في سهل الخرج
باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية خلال الفترة من عام

١٩٥٠-٢٠٠٦م، مجلة دراسات الخليج والجزيرة العربية، مجلس النشر العلمي، جامعة الكويت، الكويت.

١٩. الجعيدى، فرحان ومحمد بوروية (٢٠٠٦م)، تقدير تدفق الذروة للسيول في وادي العين بالخرج، بحث مقدم إلى الندوة الجغرافية التاسعة المنعقدة في جامعة الملك سعود، بتاريخ (٢٧-٢٩/٢/١٤٢٧هـ)، الرياض.

٢٠. الجعيدى، فرحان (٢٠٠٨م)، الخصائص الهيدرولوجية وخصائص السيول في أحواض السدود المقترحة على أودية عليية في محافظة الخرج، الجمعية الجغرافية السعودية، الرياض.

٢١. جودة، حسنين جودة (١٩٩٨م)، الجغرافيا الطبيعية والكوارث، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية.

٢٢. حبيب، إتي و ليثور اساف (٢٠٠٥م)، النظام الهيدرولوجي لينايع وادي فوقين، http://www.foeme.org/FOEME/SEKER/Hydrological_system_of_wadi-Fuqeen-ARABIC.htm

٢٣. الحرى، خالد مسلم (١٩٩٤م)، مصادر المياه بمنطقة وادي الليث: دراسة في جغرافية الموارد، رسالة ماجستير، غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية العلوم الاجتماعية، جامعة أم القرى، مكة المكرمة.

٢٤. الحرى، نوير مسري (٢٠٠٧م)، النمذجة الآلية لحوض وادي ملكان باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ونماذج الارتفاعات الرقمية: دراسة من منظور جيومورفولوجي، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا، جامعة أم القرى، مكة المكرمة.

٢٥. حسين، عبد العزيز عبد القادر (١٩٩٧م)، معجم المصطلحات الجيولوجية، مركز النشر العلمي، جامعة الملك عبد العزيز، جدة.

٢٦. حسين، محمد يوسف و عمر شريف وعدنان النقاش (١٩٨٣م) أساسيات علم الجيولوجيا، دار جون وايلي وأبنائه، إنجلترا.

٢٧. الحواس، عساف علي (٢٠٠٧م)، توظيف تكاملي لتقنيات الاستشعار من بعد ونظم المعلومات الجغرافية لتحديد وتحليل الخصائص الهيدرولوجية لأحواض التصريف الصحراوية، الجمعية الجغرافية السعودية، سلسلة بحوث جغرافية ٨١، الرياض.

٢٨. الخزامي عزيز، محمد (١٩٩٨م)، نظم المعلومات الجغرافية أساسيات وتطبيقات للجغرافيين، منشأة المعارف، الإسكندرية.
٢٩. خضير، ثعبان كاظم (١٩٩٨م)، هندسة السيطرة على المياه، دار الشروق، عمان، الأردن.
٣٠. الداغستاني، نبيل صبحي (بدون تاريخ)، الاستشعار عن بعد، الأساسيات والتطبيقات، دار المناهج، (بدون مكان نشر).
٣١. الدخيل، عبد الرحمن محمد، وآخرون (١٩٩٧م)، موارد المياه الجوفية في جنوب مكة المكرمة، مركز فقيه للأبحاث والتطوير، مكة المكرمة.
٣٢. درادكة، خليفة (١٩٩٩م)، هيدرولوجيا المياه الجوفية ومبادئ في المياه السطحية، جامعة البلقاء التطبيقية، الأردن.
٣٣. الدوسري، علي محمد وآخرون (٢٠٠٨م)، إدارة السيول الجارفة في منطقة الشعيبة الصناعية جنوب الكويت، تقدير تدفق الذروة لسيول روافد وادي حنيقة الداخلة على غرب مدينة الرياض في المملكة العربية السعودية، بحث مقدم إلى ندوة إدارة الكوارث وسلامة المباني في الدول العربية، وزارة الشؤون البلدية والقروية، بتاريخ (٢١-٢٤/٤/١٤٢٩هـ)، الرياض.
٣٤. راضي، محمود دياب (١٩٩٢م)، العلاقة بين الجريان السطحي والأمطار في وادي سمائل بسلطنة عُمان، الجمعية الجغرافية الكويتية، رسائل جغرافية ١٤١، الكويت.
٣٥. الرحيلي، أمينة عطا الله (٢٠٠٤م)، خصائص المناخ في إمارة منطقة مكة المكرمة، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا، جامعة أم القرى، مكة المكرمة.
٣٦. الرحيلي، بسمة سلامة (٢٠٠٦م)، استخدام نظم المعلومات الجغرافية لتقييم الوضع الراهن لمواقع مدارس البنات الحكومية بمدينة مكة المكرمة، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا، جامعة أم القرى، مكة المكرمة.
٣٧. الرفاعي، محمود فيصل (١٩٨٥م)، الهيدرولوجيا الهندسية، مدينة الكتاب والمطبوعات الجامعية، جامعة حلب، حلب.

٣٨. الرويثي، محمد أحمد (١٩٨٣م)، الموارد المائية في منطقة الساحل السعودي، مجلة كلية العلوم الاجتماعية، جامعة الإمام محمد بن سعود، الرياض.
٣٩. الزهراني، محمد، وآخرون (٢٠٠٨م)، دراسة مناطق الفيضانات المحتملة في مناطق السهل الفيضي لوادي قنونة، بحث مقدم إلى ندوة إدارة الكوارث وسلامة المباني في الدول العربية، وزارة الشؤون البلدية والقروية، بتاريخ (٢١-٢٤/٤/١٤٢٩هـ)، الرياض، المملكة العربية السعودية.
٤٠. السري، عبد القادر محمد (١٩٩٤م)، استخدام الاستشعار عن بعد في دراسة وإدارة الموارد الطبيعية في المناطق الصحراوية، بحث مقدم إلى ندوة دراسات الصحراء في المملكة العربية السعودية، مركز دراسات الصحراء، جامعة الملك سعود، الرياض.
٤١. سقا، عبد الحفيظ محمد (١٩٩٨م)، الجغرافيا الطبيعية للمملكة العربية السعودية، الطبعة الثانية، بدون ناشر، جدة.
٤٢. السقال، محمد مروان (١٩٩١م)، التطبيق الفعال لتقنيات الاستشعار عن بعد في مجال تطوير مصادر المياه وإدارته في المنطقة العربية. مجلة التعريب، المركز العربي للتعريب والترجمة.
٤٣. سلامة، حسن رمضان (٢٠٠٤)، أصول الجيومورفولوجيا، دار المسيرة، عمان، الأردن.
٤٤. شاكر، الملبود (٢٠٠٨م)، الأخطار الهيدرولوجية على السطح والمدارات الحضرية بالمغرب، بحث مقدم إلى ندوة إدارة الكوارث وسلامة المباني في الدول العربية، وزارة الشؤون البلدية والقروية، بتاريخ (٢١-٢٤/٤/١٤٢٩هـ)، الرياض.
٤٥. الشبلاق، محمد (١٩٩٥م)، الهيدرولوجيا، جامعة دمشق، دمشق.
٤٦. الشمراي، صالح ومعراج مرزا (٢٠٠٥م)، استنزاف مياه وادي نعمان بمكة المكرمة، بحث مقدم إلى الندوة الجغرافية الثامنة، المنعقدة بجامعة أم القرى، بتاريخ (١١-١٣/١/١٤٢٥هـ)، مكة المكرمة.
٤٧. الشمري، باتع زيد (١٩٩٤م)، الاستشعار عن بعد وتفسير الصور الفضائية في المناطق الصحراوية، بحث مقدم إلى ندوة دراسات الصحراء في المملكة العربية السعودية، مركز دراسات الصحراء، جامعة الملك سعود، الرياض.

٤٨. الشنطي، أحمد محمود (٢٠٠٣م)، جيولوجية الدرع العربي، مركز النشر العلمي، جامعة الملك عبد العزيز، جدة.

٤٩. الصالح، محمد عبدالله (١٩٩٩م)، استخدام صور الماسح الموضوعي المحسنة والخرائط الطبوغرافية للتحليل المورفومتري لوادي عنان ووادي مزيرعة بوسط المملكة العربية السعودية، مجلة جامعة الملك سعود، المجلد ١١، الآداب ٢.

٥٠. صديق، عبد الفتاح (٢٠٠٥م)، أسس الصور الجوية والاستشعار عن بعد، مكتبة الرشد، الرياض.

٥١. عبد الحفيظ، علا عبد الجواد (٢٠٠٨م)، الكوارث وتأثيرها على البيئة الطبيعية والعمرائية والإنسانية _ قرى السيول في صعيد مصر_ دراسة حالة، بحث مقدم إلى ندوة إدارة الكوارث وسلامة المباني في الدول العربية، وزارة الشؤون البلدية والقروية، بتاريخ (٢١-٢٤/٤/١٤٢٩هـ)، الرياض.

٥٢. عبدالعزيز، محمود فوزي (١٩٩٦م)، معجم هندسة المياه، الطبعة الثانية، أكاديميا، بيروت.

٥٣. العبيد، عبد اللطيف إبراهيم و باتع الشمري (١٩٩٤م)، إمكانية استخدام الاستشعار عن بعد في تصنيف الكثبان الرملية وحركتها، ندوة دراسات الصحراء في المملكة العربية السعودية، مركز دراسات الصحراء، جامعة الملك سعود، الرياض.

٥٤. عثمان، هند اليمني (٢٠٠٨م)، فيضان نهر النيل في السودان، بحث مقدم إلى ندوة إدارة الكوارث وسلامة المباني في الدول العربية، وزارة الشؤون البلدية والقروية، بتاريخ (٢١-٢٤/٤/١٤٢٩هـ)، الرياض.

٥٥. عقاقبة، أحمد (٢٠٠٥م)، خطر الفيضانات في المناطق شبه الجافة: دراسة حالة مدينة العلمة، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم علوم الأرض، كلية علوم الأرض، جامعة الحاج لخضر - بتانة، الجمهورية الجزائرية.

٥٦. عواري، ابتسام حسن (٢٠٠٥م)، الغطاء النباتي في حوض وادي نعمان مع التطبيق على رافده وادي الجيريش، رسالة دكتوراه غير منشورة، إدارة كليات البنات، الأقسام الأدبية، جدة.

٥٧. عودة، سميح أحمد (٢٠٠٥م)، أساسيات نظم المعلومات الجغرافية، دار المسيرة، الأردن.
٥٨. الغامدي، سعد أبوراس (١٩٩٦م)، تحليل الاستجابة الطيفية لنباتات المناطق الجافة وشبه الجافة، رسائل جغرافية، الجمعية الجغرافية الكويتية، الكويت.
٥٩. الغامدي، سعد أبوراس، وياسر النجار (٢٠٠٢م)، تحليل النمو العمراني واتجاهاته باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد: دراسة تطبيقية على مدينة مكة المكرمة للفترة من ١٩٧٨-٢٠٠٠م، مجلة جامعة الملك عبد العزيز، عدد خاص.
٦٠. الغامدي، سعد أبوراس (٢٠٠٥م)، استخلاص شبكة التصريف السطحي باستعمال المعالجة الآلية لبيانات الأقمار الصناعية: دراسة على منطقة جبال نعمان، مجلة جامعة أم القرى للعلوم التربوية والاجتماعي والإنسانية، المجلد ١٦، العدد ٢.
٦١. الغامدي، سعد أبوراس (٢٠٠٩م) تطبيق نموذج جافريلوفيك لتقدير مخاطر التعرية المائية في حوض وادي نعمان بوسائل الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، المجلة المصرية للتغير البيئي، العدد الأول، السنة الأولى، الجمعية المصرية للتغيرات البيئية، مصر.
٦٢. غانم، عبد النور علي (٢٠٠٨م)، دراسة أسباب الفيضانات في المناطق الجافة وشبه الجافة وأساليب السيطرة عليها: دراسة حالة فيضانات مدينة معبر باليمن، بحث مقدم إلى ندوة إدارة الكوارث وسلامة المباني في الدول العربية، وزارة الشؤون البلدية والقروية، بتاريخ (٢١-٢٤/٤/١٤٢٩هـ)، الرياض.
٦٣. ليلساند، توماس (١٩٩٤م)، الاستشعار عند بعد وتفسير المرئيات، (مترجم)، المركز العربي للتعريب والترجمة والتأليف والنشر، دمشق.
٦٤. المدحجي، محمد أحمد (٢٠٠٨م)، تحليل أسباب وتأثير والحد من الكوارث الطبيعية: حالة دراسية حماية مدينة تعز من الفيضانات، بحث مقدم إلى ندوة إدارة الكوارث وسلامة المباني في الدول العربية، وزارة الشؤون البلدية والقروية، بتاريخ (٢١-٢٤/٤/١٤٢٩هـ)، الرياض.
٦٥. المدحجي، محمد أحمد و محمد المشرفي (٢٠٠٨م)، تأثيرات الكوارث الطبيعية على التنمية الإقليمية (كوارث السيول على شرق وسط اليمن - دراسة حالة)، بحث مقدم

- إلى ندوة إدارة الكوارث وسلامة المباني في الدول العربية، وزارة الشؤون البلدية والقروية، بتاريخ (٢١-٢٤/٤/١٤٢٩هـ)، الرياض.
٦٦. مرزا، معراج وأحمد بدر الدين (٢٠٠١م)، أحوال الطقس والمناخ في الشتاء بمكة المكرمة، رسائل جغرافية (٢٥٣) الجمعية الجغرافية الكويتية، الكويت.
٦٧. مرزا، معراج ومحمد البارودي (٢٠٠٥م)، السمات المورفولوجية والخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لأودية الحرم المكي، مجلة جامعة أم القرى للعلوم التربوية والاجتماعية والإنسانية (١٧٦-٢٦٢)، مكة المكرمة.
٦٨. المومني، لطفي راشد (١٩٩٧م)، هيدرولوجية حوض وادي الموجب الرئيسي في الأردن، بدون ناشر، عمان، الأردن.
٦٩. النافع، عبد اللطيف حمود (٢٠٠٤م)، الجغرافيا النباتية للمملكة العربية السعودية، بدون ناشر، الرياض.
٧٠. نعمان، فهمي علي (٢٠٠٠م)، حوض صنعاء، دراسة في جغرافية الموارد المائية، رسالة دكتوراه غير منشورة، كلية التربية، جامعة بغداد، بغداد.
٧١. هديسون، نورمان (بدون تاريخ)، صيانة التربة، (مترجم)، منشورات جامعة عمر المختار، البيضاء.
٧٢. المالكي، سالم ساعد (٢٠٠٥م)، موارد المياه بحوض وادي تربة: دراسة في جغرافية الموارد المائية، قسم الجغرافيا، كلية العلوم الاجتماعية، جامعة أم القرى، مكة المكرمة.
٧٣. المرزوقي، فؤاد و محمد عبد الغفور (١٩٩٣م)، الصخور النارية، مركز النشر العلمي، جامعة الملك عبد العزيز، جدة.
٧٤. الوليعي، عبدالله (١٩٩٢م) تعرج الأنهار والأودية: دراسة جيومورفولوجية تطبيقية لبعض الأودية الجافة في المملكة العربية السعودية، الجمعية الجغرافية السعودية، بحوث جغرافية (١٢)، الرياض.

ب_ الدراسات والتقارير والنشرات الحكومية

١. البيانات المطرية لمرصد جامعة أم القرى من عام ١٩٨٥_٢٠٠٨م.
٢. البيانات المناخية صادرة من الرئاسة العامة للأرصاد وحماية البيئة لمرصد مكة من عام ١٩٨٥_٢٠٠٨م، ومرصد الطائف من عام ١٩٧٠_٢٠٠٨م.
٣. تقرير مرصد مكة المكرمة ليوم التروية الثامن من ذي الحجة لعام ١٤٣٠هـ — للأمطار الساقطة على عرفات، ومني، و مكة المكرمة.
٤. تقارير الدفاع المدني، قسم الحماية المدنية للأمطار والسيول بتاريخ ١٦/٩/١٤٢٤هـ، و تاريخ ١٢/١٢/١٤٢٥هـ.
٥. تقرير الدفاع المدني، قسم الحماية المدنية عن الأمطار والسيول بالعاصمة المقدسة وبعض مخاطر التلوث البيئي.
٦. تقرير الدفاع المدني، قسم الحماية المدنية الخاص بخطة مواجهة السيول في مدينة مكة المكرمة.
٧. الدراسات الهيدرولوجية، الإدارة العامة لمشاريع السيول، أمانة العاصمة المقدسة.
٨. النشرات الهيدرولوجية الصادرة من وزارة الماء والكهرباء لمحطات مكة (١٩٧٠_٢٠٠٨)، وادي محرم (١٩٦٤_٢٠٠٢)، الفرين (١٩٩٦_٢٠٠٢م)، شداد (١٩٦٦_٢٠٠٢م)، الكر العلوي (١٩٦٦_٢٠٠٥)، الكر السفلي (١٩٩٦_٢٠٠٥م)، نعمان ، وصلاح (أحمد، ١٩٩٧م).
٩. وزارة الشؤون البلدية والقروية (١٤٢٤هـ)، دليل تصميم العبارات، الطبعة الأولى.

ثانياً: المراجع غير العربية

- 1- AL-Gamdi, S (1991), Estimating Runoff Curve Numbers of the Soil Conservation Service in Arid and Semi-arid Environments Using Remotely Sensed Data, A dissertation Submitted to the Faculty of the University of Utah, USA.
- 2- AL-Jaberi, S (w.d), Estimation of Runoff for Agricultural Watershed Using SCS Curve Number and GIS, www.iwtc.info/2009_pdf114-60pdf
- 3- Assefa, M & Wendy, D (2004), Storm Runoff Prediction Based on a Spatially Distributed Travel Time Method Utilizing Remote Sensing and GIS, *Journal of The American Water Resources Association*, PP 863-876.
- 4- Coskun, M (w.d), Prediction of Hydrological Model of Yuvacik Catchment By Using Remote Sensing and GIS Integration, www.eurojournals.com/ejsr_34_4_14.pdf
- 5- EL-Behiry, M & Shedid, A (2006), Integrated GIS and Remote Sensing for Runoff Hazard Analysis in Ain Sukhna Industrial Area, Egypt, JKAU, *Earth Sciences*, Vol7, pp19-24, Jeddah.
- 6- George, (2010), Flood Flows, www.fechnologismiki.com
- 7- Gupta, p (2002), Geo-Spatial Modeling of Runoff Large Land Mass: Analysis, Approach and Results for Major River Basing of India, www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/2_pdf/1_WG-II-1/11.pdf
- 8- McCuen, R (w.d), A guide to Hydrologic Analysis Using SCS Methods, University of Maryland, UAS.
- 9- Moore, T & AL-Rehaili, M (1989), Geologic Map of the Makkah Quadrangle, Sheet 21D, Ministre of Petroleum And Mineral Resources, Jiddah.

- 10- Sbyani, A & Bayumi , T (2001), Physiographical and Hydrological Analysis of Yalamlam Basin , Makkah AL-mukarramah Area, JKAU, *Earth Sciences*. Vol13.pp151-177,Jeddah.
- 11- Shammout, M (2003), Land Use Options for Surface Water Management in Zerqa River Basin Using Modeling Tools,
- 12- Sorman, A & Qari, M, (1994), Estimation of Flood Peak Using Remote Sensing Techniques; Case Studu: Wadi Itwad, South Western Saudi Arabia, JKAU, *Mete. Ennvi.*, Vo5, pp161-177, Jeddah.
- 13- Sorman, A (1993), Application of the TR-55 Model to Storms in Arid Climate Case Study: Upper Tabalah, The Kingdom of Saudi Arabia, JKAU, *Mete..Ennvi..*, Vo4, pp101-109, Jeddah.
- 14- Unal, K & James, A (2002), Dwttermination of Curve Number for a Bison Feed,
- 15- USDA-TR55, (1986), Urban Hydrology for Small Watersheds, Department of Agriculture, USA.
- 16- USDA-SCS,(1985), Natural Engineering Handbook, section 4. Department of Agriculture, USA.
- 17- Weng, Q (2007), Remote Sensing Impervious Surfaces, Taylor & Francis Group, LLC, New York.

ثالثاً: المراجع من الانترنت:

- 1- www.FAO.com
- 2- www.aljazeera.net/NR/exeres/10370F47-9663-438F-AD25-ED408D853FE8.htm
- 3- <http://chams02.maktoobblog.com>
- 4- <http://arabic.people.com.cn/31657/6493047.html>
- 5- http://www.arabic.xinhuanet.com/arabic/2008-09/06/content_712766.htm
- 6- <http://dels.nas.edu/water/hydro.shtml>
- 7- www.ita-aites.org
- 8- <http://www.al-madina.com/node/234104>
- 9- <http://www.tarassul.sy/index.php?d=32&id=740>
- 10- www.tarassul.sy/index.php?d=32&id=740 - 27k
- 11- http://www.idrc.ca/ar/ev-114971-201-1-DO_TOPIC.html
- 12- <http://www.syria-aleppo.com/news/31.html>
- 13- <http://www.shodor.org/master/environmental/water/runoff/RunoffGlossary.html>
- 14- <http://www.h-wr.com/Portal/news.php?action=view&id=4>
- 15- <http://www.smsec.com/ar/encyc/earthforms/1/o4.htm>
- 16- <http://forum.zira3a.net/showthread.php?t=7832>
- 17- <http://www.alwasatnews.com/2638/news/read/338205/1.html>

الملاحق

ملحق (أ)

جدول الزمان مني بؤلال قال مسبقاً لظهور المتراب

القيم المنحنية حسب الحالة المسبقة لرطوبة التربة

CN for Condition II	CN for Condition I	CN for Condition III
100	100	100
95	87	99
90	78	98
85	70	97
80	63	94
75	57	91
70	51	87
65	45	83
60	40	79
55	35	75
50	31	70
45	27	65
40	23	60
35	19	55
30	15	50
25	12	45
20	9	39
15	7	33
10	4	26
5	2	17
0	0	0

المصدر: McCuen, W.D.

بالتصريح (ب)

جاء في الزمان من غير

جدول رقم (1) القيم المنحنية للمناطق الحضرية.

Table 2-2a Runoff curve numbers for urban areas ^{1/}

Cover description	Average percent impervious area ^{2/}	Curve numbers for hydrologic soil group			
		A	B	C	D
<i>Fully developed urban areas (vegetation established)</i>					
Open space (lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.) ^{3/} :					
Poor condition (grass cover < 50%)		68	79	86	89
Fair condition (grass cover 50% to 75%)		49	69	79	84
Good condition (grass cover > 75%)		39	61	74	80
Impervious areas:					
Paved parking lots, roofs, driveways, etc. (excluding right-of-way)		98	98	98	98
Streets and roads:					
Paved; curbs and storm sewers (excluding right-of-way)		98	98	98	98
Paved; open ditches (including right-of-way)		83	89	92	93
Gravel (including right-of-way)		76	85	89	91
Dirt (including right-of-way)		72	82	87	89
Western desert urban areas:					
Natural desert landscaping (pervious areas only) ^{4/}		63	77	85	88
Artificial desert landscaping (impervious weed barrier, desert shrub with 1- to 2-inch sand or gravel mulch and basin borders)		96	96	96	96
Urban districts:					
Commercial and business	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
Residential districts by average lot size:					
1/8 acre or less (town houses)	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
2 acres	12	46	65	77	82
<i>Developing urban areas</i>					
Newly graded areas					
(pervious areas only, no vegetation) ^{5/}	77	86	91	94	
Idle lands (CN's are determined using cover types similar to those in table 2-2c).					

المصدر: TR55.1986.2-5

جدول رقم (٢) القيم المنحنية للمناطق الزراعية

Table 2-2b Runoff curve numbers for cultivated agricultural lands ١/

Cover description			Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type	Treatment ٢/	Hydrologic condition ٣/	A	B	C	D
Fallow	Bare soil	—	77	86	91	94
	Crop residue cover (CR)	Poor	76	85	90	93
		Good	74	83	88	90
Row crops	Straight row (SR)	Poor	72	81	88	91
		Good	67	78	85	89
	SR + CR	Poor	71	80	87	90
		Good	64	75	82	85
	Contoured (C)	Poor	70	79	84	88
		Good	65	75	82	86
	C + CR	Poor	69	78	83	87
		Good	64	74	81	85
	Contoured & terraced (C&T)	Poor	66	74	80	82
		Good	62	71	78	81
	C&T+ CR	Poor	65	73	79	81
Good		61	70	77	80	
Small grain	SR	Poor	65	76	84	88
		Good	63	75	83	87
	SR + CR	Poor	64	75	83	86
		Good	60	72	80	84
	C	Poor	63	74	82	85
		Good	61	73	81	84
	C + CR	Poor	62	73	81	84
		Good	60	72	80	83
	C&T	Poor	61	72	79	82
		Good	59	70	78	81
	C&T+ CR	Poor	60	71	78	81
Good		58	69	77	80	
Close-seeded or broadcast legumes or rotation meadow	SR	Poor	66	77	85	89
		Good	58	72	81	85
	C	Poor	64	75	83	85
		Good	55	69	78	83
	C&T	Poor	63	73	80	83
		Good	51	67	76	80

المصدر: 6-1986.2-TR55

جدول رقم (٣) القيم المنحنية للأراضي غير الزراعية

Table 2-2c Runoff curve numbers for other agricultural lands ^{1/}

Cover type	Cover description	Hydrologic condition	Curve numbers for hydrologic soil group			
			A	B	C	D
Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing. ^{2/}		Poor	68	79	86	89
		Fair	49	69	79	84
		Good	39	61	74	80
Meadow—continuous grass, protected from grazing and generally mowed for hay.		—	30	58	71	78
Brush—brush-weed-grass mixture with brush the major element. ^{3/}		Poor	48	67	77	83
		Fair	35	56	70	77
		Good	30 ^{4/}	48	65	73
Woods—grass combination (orchard or tree farm). ^{5/}		Poor	57	73	82	86
		Fair	43	65	76	82
		Good	32	58	72	79
Woods. ^{6/}		Poor	45	66	77	83
		Fair	36	60	73	79
		Good	30 ^{4/}	55	70	77
Farmsteads—buildings, lanes, driveways, and surrounding lots.		—	59	74	82	86

المصدر: TR55.1986.2-7

جدول رقم (٤) جدول القيم المنحنية للمراعي في المناطق الجافة وشبه الجافة

Table 2-2d Runoff curve numbers for arid and semiarid rangelands^{1/}

Cover description	Hydrologic condition ^{2/}	Curve numbers for hydrologic soil group			
		A ^{3/}	B	C	D
Herbaceous—mixture of grass, weeds, and low-growing brush, with brush the minor element.	Poor		80	87	93
	Fair		71	81	89
	Good		62	74	85
Oak-aspen—mountain brush mixture of oak brush, aspen, mountain mahogany, bitter brush, maple, and other brush.	Poor		66	74	79
	Fair		48	57	63
	Good		30	41	48
Pinyon-juniper—pinyon, juniper, or both; grass understory.	Poor		75	85	89
	Fair		58	73	80
	Good		41	61	71
Sagebrush with grass understory.	Poor		67	80	85
	Fair		51	63	70
	Good		35	47	55
Desert shrub—major plants include saltbush, greasewood, creosotebush, blackbrush, bursage, palo verde, mesquite, and cactus.	Poor	63	77	85	88
	Fair	55	72	81	86
	Good	49	68	79	84

المصدر: TR55.1986.2-8

ملاحقہ (ج)

اِس مَجْلَدِ مَحَلِّی



لوحة رقم (١)

منطقة المغمس في شرق الحوض ، ويلاحظ ضعف الغطاء النباتي



لوحة (٢)

أثر القطع في بقايا سهل فيضي قديم



لوحة رقم (٣) جبل كيبك



لوحة رقم (٤)

قد تكون السيول في الوادي قوية بحيث تمكنت من نقل جلاميد بهذا الحجم إلى مسافات بعيدة



لوحة رقم (٥)

انتشار البناء في شمال منطقة المعمس



لوحة رقم (٦)

انتشار البناء في وادي المجاز حيث يقع مخطط الراشدية ٢



لوحة رقم (٧)

رواج تجارة بيع مياه الآبار في أدنى القطاع الأوسط من الوادي



لوحة رقم (٨)

تنتشر المزارع بكثافة على طول مجرى السيل بين المطار شمالاً وطريق عرفات الدائري جنوباً



لوحة رقم (٩)

لقطتين لمخرج الحوض حيث تبدو مباني جامعة أم القرى في مواجهة مجرى السيل، ويشير السهم
في اللقطة السفلية مباني الجامعة

Kingdom of Saudi Arabia
Ministry of Higher Education
Umm Al – Qura University
College of social Sciences
Department of Geography



Estimating Runoff and Flood Hazards in the Upper Basin of Oranah Valley East Makkah Through Remote Sensing and Geographic Information Systems

By

Hifaa M. AL-Nofai

Supervisor

Prof. Saad S. AL-Ghamdi

**A Study Submitted to the Department of Geography as Supplementary
Requirement for Master's Degree in Geography**

Second Semester 2010