



الجمعية الجغرافية المصرية

**تقدير أحجام السيول ومخاطرها عند المجرى الأدنى
لوادي عرنة جنوب شرق مدينة مكة المكرمة
"باستخدام نظم المعلومات الجغرافية"**

الأستاذ الدكتور/ محمد سعيد البارودي

قسم الجغرافيا،

كلية العلوم الاجتماعية - جامعة أم القرى

سلسلة بحوث جغرافية

العدد الثامن والأربعون - 2012



فهرس المحتويات

صفحة	الموضوع
1	المقدمة.
3	أولاً : الخصائص الطبيعية لمنطقة البحث.
4	أ) الخصائص الجيولوجية.
5	1- وحدة صخور ما قبل الكامبري.
5	2- وحدة رواسب الزمن الرابع.
6	
10	ب) الخصائص الجيومورفولوجية والشكلية للأودية الحالية.
10	1- مساحة الأحواض.
11	2- انحدار وارتفاع الأحواض.
11	3- شكل الأحواض.
12	4- معامل الاستدارة.
13	5- نسبة الاستطالة.
15	6- شبكة التصريف المائي.
16	ج) الخصائص المناخية.
17	1- السجلات السنوية للأمطار والقيم القصوى لها.
21	2- السجلات اليومية القصوى للأمطار في منطقة البحث.
21	3- سجل العاصفة المطرية 2010 والسيل الناجم عنها.
25	ثانياً : الإطار النظري للبحث والدراسات السابقة.
26	أ) الإطار النظري للبحث.
28	1- نموذج سنايدر.
33	2- التعديلات على طريقة سنايدر.
34	ب) الدراسات السابقة.

40	ثالثاً : طريقة العمل.
40	أ) جمع بيانات البحث.
41	ب) معالجة بيانات البحث.
49	رابعاً : تقدير تصريف السيول في حوض وادي عرنة.
72	خامساً : مناقشة النتائج.
76	- ملخص النتائج والتوصيات.
78	- المراجع.

فهرس الأشكال

صفحة	عنوان الشكل	م
3	موقع حوض وادي عرنة من مدينة مكة المكرمة.	1.
4	الخريطة الجيولوجية لحوض وادي عرنة.	2.
7	الخريطة الكنتورية لحوض وادي عرنة.	3.
8	الخريطة التضاريسية لحوض وادي عرنة.	4.
14	رتب التصريف النهري لشبكة حوض وادي عرنة.	5.
16	خريطة خطوط المطر المتساوي لحوض وادي عرنة.	6.
18	الأمطار اليومية القصوى للفترة ما بين 1985-2010م.	7.
20	احتمالية فترة رجوع العواصف المطرية.	8.
22	هيدروجراف السيل الناجم عن العاصفة المطرية في 2010./2/13	9.
43	خريطة نظام الارتفاعات الرقمي لحوض وادي عرنة.	10.
44	خريطة اتجاهات الجريان في حوض وادي عرنة.	11.
45	خريطة تجمعات الجريان في حوض وادي عرنة.	12.
46	مساحات تصريف حوض وادي عرنة حسب خطوة \log_{10} .	13.
48	شبكة تصريف حوض وادي عرنة حسب خطوة con .	14.
50	خريطة مظلة لحوض وادي عرنة.	15.
51	خريطة انحدار حوض وادي عرنة Slope.	16.
52	خريطة اتجاه المنحدرات لحوض وادي عرنة Aspect.	17.
74	التقاء سيل وادي عرنة مع بداية مشعر عرفات.	18.
76	هيدروجراف حوض وادي عرنة حسب نموذج سنايدر.	19.

فهرس الجداول

صفحة	عنوان الجدول	م
6	الخصائص الشكلية والتضاريسية لأودية منطقة البحث.	1.
18	كميات المطر اليومية القصوى في مكة المكرمة بين عامي 1985-2010م.	2.
19	فترة الرجوع والاحتمالية للأمطار اليومية القصوى لمدينة مكة المكرمة بين عامي 1985-2010م.	3.
53	فترة الاستجابة والفترة القياسية للأمطار (ساعة).	4.
56	كمية التدفق الأقصى للسيول في حوض وادي عرنة.	5.
58	زمن الأساس للسيول في منطقة البحث (يوم - ساعة).	6.
59	فترة الارتفاع التدريجي لتدفق السيل (يوم - ساعة).	7.
61	فترة الانخفاض التدريجي لتدفق السيل (يوم - ساعة) وتركيز الأمطار المناسبة لتدفق الذروة في حوض عرنة.	8.
63	حساب تدفق الذروة النوعي لحوض وادي عرنة.	9.
64	الفترة الزمنية W_{50} المناسبة لعرض منحني السيل في حوض وادي عرنة.	10.
64	الفترة الزمنية W_{75} المناسبة لعرض منحني السيل في حوض وادي عرنة.	11.
66	أحجام السيول في وادي عرنة (مليون متر مكعب).	12.
67	عمق الجريان السطحي المناسب لذروة تدفق السيل في وادي عرنة.	13.
68	معامل قوة السيول في وادي عرنة.	14.
69	القيم الكمية والزمنية لتدفق السيول في حوض وادي عرنة.	15.
71	القيم الكمية والزمنية لتصريف الذروة في حوض عرنة بعد تحديد قيمتي الـ ct والـ cp .	16.

فهرس الصور الفوتوغرافية

صفحة	عنوان الصورة	م
22	ارتفاع السيل على أعمدة الجسور ووصوله الى العوارض الحاملة له.	.1
23	الأثر الذي تركه السيل على أعمدة الجسور وهو ما يشير الى ارتفاعه.	.2
75	بعض الجسور المرتفعة التي لا تتأثر بارتفاع السيل.	.3

المقدمة

تشمل مناطق جنوب شرق مدينة مكة المكرمة كلاً من المشاعر المقدسة وهي منى ومزدلفة وعرفات بالإضافة إلى مباني المدينة الجامعية لجامعة أم القرى. بينما تغطي منطقة البحث المجاري العليا والوسطى لوادي عرنة حتى التقائه بمشعر عرفة والمدينة الجامعية.

وكما هو معلوم فإن مشعر عرفات يستقطب كل سنة أكثر من 3 ملايين حاج يقضون ليلتهم ونهارهم فيه خلال موسم الحج الذي يتكرر سنوياً كواحد من أركان الإسلام. أما المدينة الجامعية لجامعة أم القرى فتضم بضع عشرات الآلاف من الطلاب والإداريين والأكاديميين إضافة إلى المباني الجامعية التي استنزفت الكثير من الجهد والمال. ويقع كلا الموقعين في مواجهة السيول المتدفقة من وادي عرنة الذي يحد كل من مشعر عرفات والمدينة الجامعية شمالاً.

وإزاء هذا الوضع قامت حكومة المملكة بتحديد مجرى وادي عرنة بجوانب أسمنتية وأقامت عليه العديد من الجسور التي ترتفع إلى حوالي 4 أمتار فوق بطن الوادي. ونظراً لتخوف الكثيرين من مخاطر السيول والفيضان فقد أثار هذا الوضع الكثير من التساؤلات والجدل حول مدى فعالية الإجراءات المتخذة في الوادي المذكور. ولعل أهمية هذا البحث تكمن في تحديد مدى كفاءة الإجراءات السالفة الذكر وتقييمها من خلال تقدير أحجام السيول ومدى خطورتها عند بداية مشعر عرفات، حيث قامت العديد من الأنشطة البشرية في مجرى الوادي وهو ما سيؤدي إلى إعاقة الجريان وتفاقم المشكلة.

ويهدف هذا البحث إلى :

- 1- استخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية Arc GIS في الاستخراج الآلي للخصائص المورفومترية لأحواض التصريف في منطقة البحث وذلك بالاعتماد على معالجة بيانات نموذج الارتفاعات الرقمية ASTER للعام 2009م.

- 2- تقدير أحجام السيول وتدفق الذروة وارتفاع السيول ومدى خطورتها عند نقاط محددة في منطقة البحث وذلك عن طريق تطبيق نموذج سنايدر Snyder's Model الأكثر ملائمة لمنطقة البحث.
- 3- إعطاء مثال تطبيقي لعملية التكامل بين نظم المعلومات الجغرافية ونموذج الارتفاعات الرقمية والنماذج الرياضية من أجل تشجيع المهتمين بالدراسات الهيدرولوجية على تطبيق مثل هذه الطرق التكاملية في البحث العلمي
- 4- إثراء البحوث العلمية عن مكة المكرمة والمشاعر المقدسة بالدراسات الجيومورفومترية والهيدرولوجية التي تفنر إليها.

وقد قام الباحث بطرح عدد من التساؤلات لجعل الإطار الموضوعي للبحث أكثر تحديداً، ومن أهم هذه التساؤلات التي يتوخى البحث الإجابة عليها :

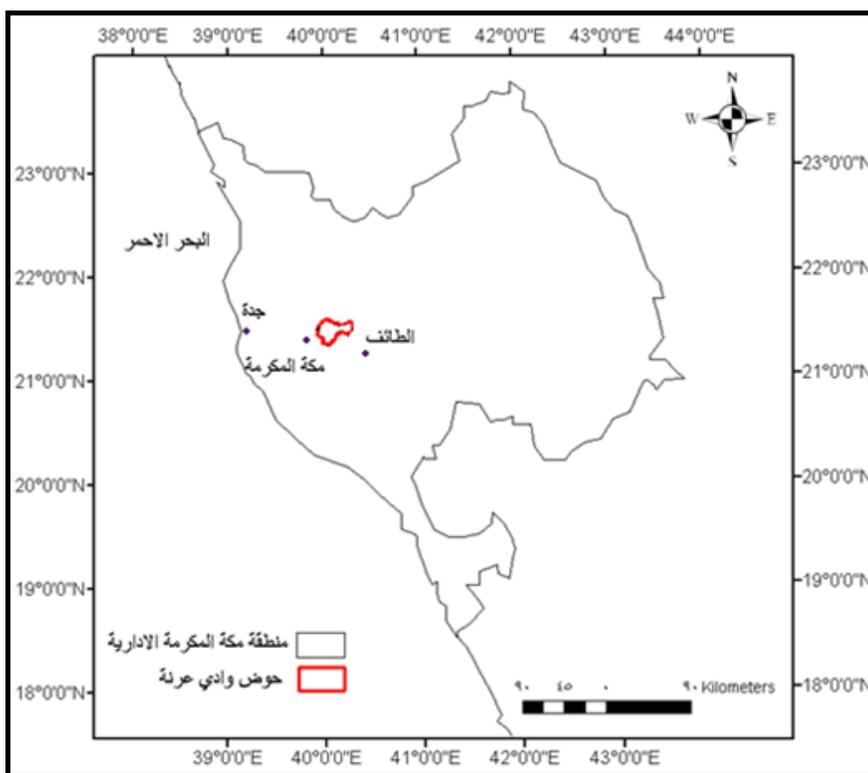
- 1- ما مدى كفاءة الاستخراج الآلي للخصائص الهيدرولوجية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاعتماد على معالجة بيانات نموذج الارتفاعات الرقمية.
- 2- ما مدى خطورة السيول وأحجامها وارتفاعها (عمقها) عند النقطة التي تم اختيارها لمنطقة البحث.
- 3- هل يعتبر نموذج سنايدر لتقدير مخاطر السيول وأحجامها هو الأكثر ملائمة لمنطقة البحث من النماذج الأخرى.
- 4- ما مدى ملائمة المنشآت الهندسية (كالجسور المقامة على وادي عرنة، والجوانب الأسمنتية المحددة لمجرى الوادي) في مواجهة السيول العارمة للوادي.

ولتحقيق الأهداف المذكورة آنفاً وللاجابة عن التساؤلات أعلاه قام الباحث بوضع طريقة للبحث - بعد التعريف بأهم الخصائص الطبيعية لمنطقة البحث - تضمنت الخطوات المرحلية لإنجاز البحث ومناقشة النتائج.

أولاً : الخصائص الطبيعية لمنطقة البحث.

تقع منطقة البحث إلى الجنوب والجنوب الشرقي من مدينة مكة المكرمة وتشغل الحوضين الأعلى والأوسط لوادي عرنة، ويحدها فلكياً دائرتي عرض 21°02' و 21°36' شمالاً، وخطي طول 39°54' و 40°17' شرقاً (شكل 1).

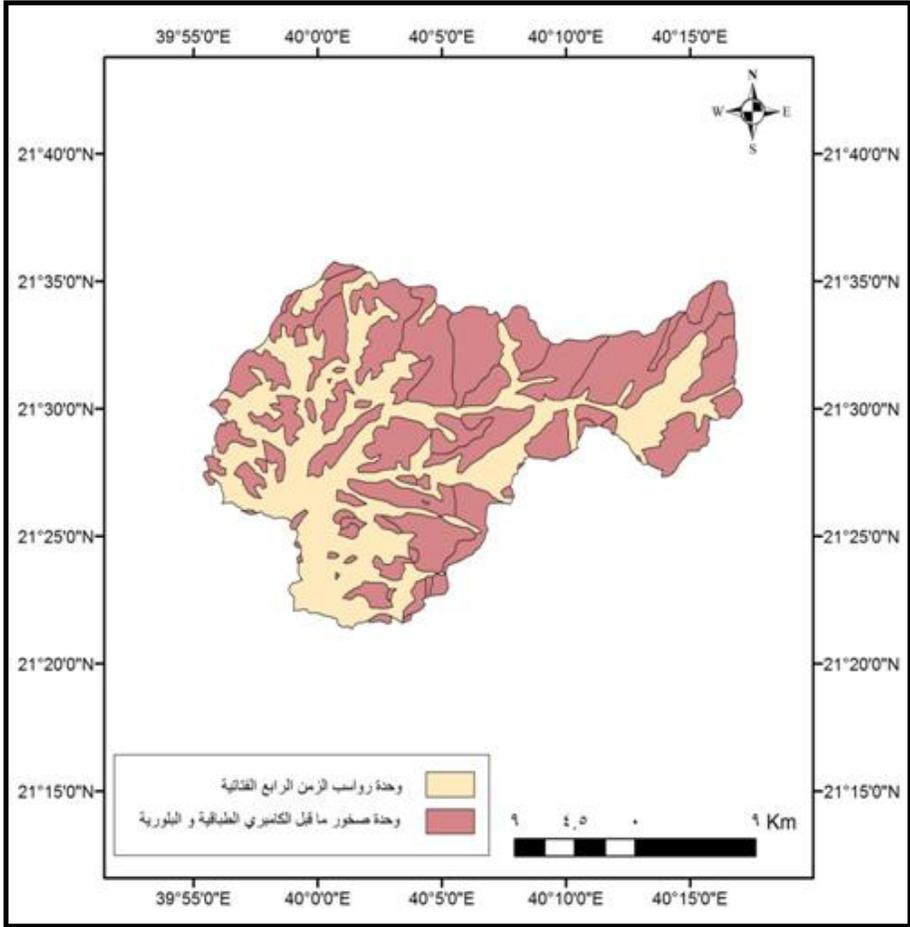
وبحسب النقاط المحددة عند بداية المجرى الأدنى لمنطقة البحث تصل مساحة حوض وادي عرنة عند الجسر رقم 8 في عرفات الى 565.3 كم²، وذلك حسب نموذج الارتفاعات الرقمية ASTER. وفيما يلي استعراض لأهم الخصائص الطبيعية لمنطقة البحث والتي لها علاقة مباشرة أو غير مباشرة بموضوع البحث والمتمثلة بكل من الخصائص الجيولوجية والجيومورفولوجية والمناخية.



شكل (1) : موقع حوض وادي عرنة من مدينة مكة المكرمة.

أ) الخصائص الجيولوجية :

يمكن من خلال الخريطة الجيولوجية المعدة لمنطقة البحث من مربع مكة قبل الكامبري، وثانيهما وحدة رواسب الزمن الرابع الفتاتية (شكل 2).



شكل (2) : الخريطة الجيولوجية لحوض وادي عرنة.

1- وحدة صخور ما قبل الكامبري :

تتقسم صخور هذه الوحدة إلى نوعين رئيسيين، وهما الصخور النارية الباطنية المتبلورة، ومكونات ما قبل الكامبري الطباقية. ويشمل النوع الأول معقدات ما قبل الكامبري كمعقدات ملح والنعمان وجعرانة وشرقة والشامية، حيث يتوزع معقد ملح في مناطق متفرقة من وادي عرنة كوادي الصدر ويتكون من الجابرو والديوريت والكوارترزديوريت أما معقد النعمان فيتوزع في جميع مناطق الحوض وهو الأكثر انتشارا في منطقة البحث ويتكون من المونزوجرانيت والبيوتيت في وادي الصدر ويظهر على التكوين النسيج الورقي بينما يتوزع معقد جعرانة في مساحات محدودة في وادي الصدر. ويتكون من التوناليت والجرانوديوريت أما معقد الشرقة فيتوزع في السفوح العليا لوادي الصدر ويسود معقد الشامية في منطقة الشرايع ويتكون من الكوارتز والبلاجيوكلاز.

أما مكونات ما قبل الكامبري الطباقية : فهي في معظمها صخور نارية وفتاتية متحولة وتشمل مساحات صغيرة من صخور قديمة غير مميزة في المجرى الأعلى لوادي عرنة وتتكون في هذا الموقع من الشست وقليل من الامفيبوليت. ومما تجدر الإشارة إليه أن مجموع ما تشكله وحدة صخور ما قبل الكامبري بنوعها من مساحة حوض منطقة البحث هي 58%، وهو ما يعكس الدور الذي تلعبه هذه الصخور غير المنفذة عقب تساقط الأمطار وحدوث الجريان.

2- وحدة رواسب الزمن الرابع :

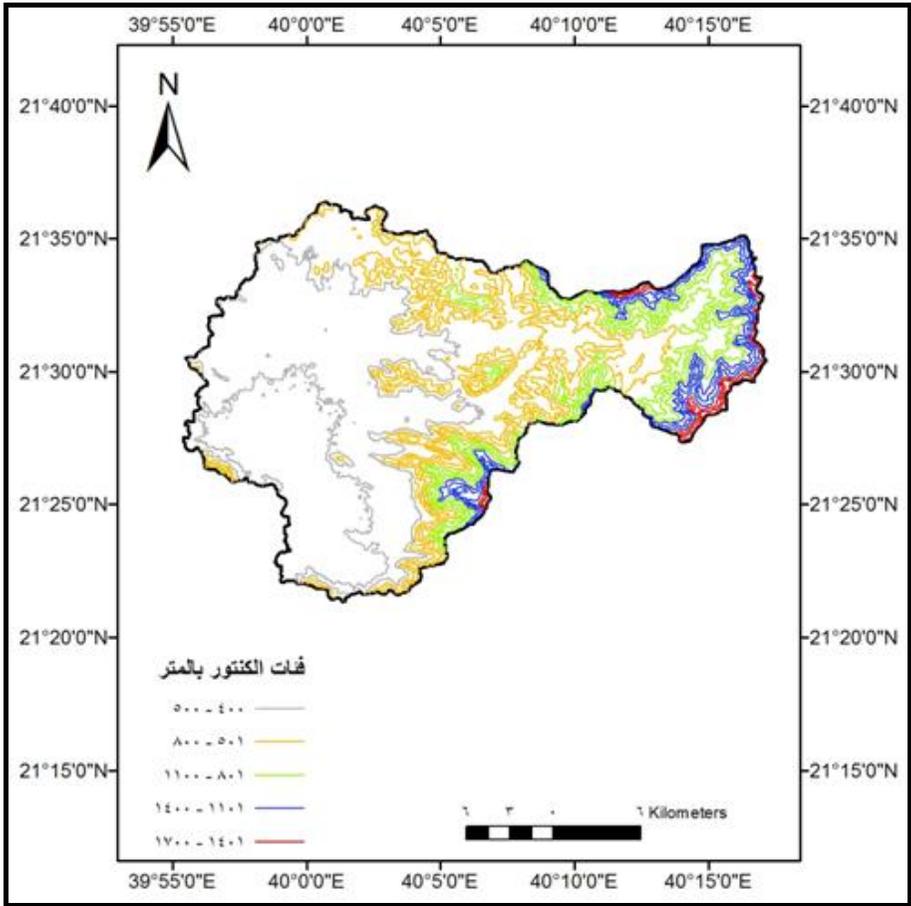
تتوزع رواسب الزمن الرابع في مجاري الأودية بالدرجة الأولى وخاصة في المجاري الوسطي والدنيا لوادي عرنة، وتتكون من الرواسب الرملية والحصى. وتشكل مساحات هذه الرواسب عالية النفاذية في حوض وادي عرنة ما نسبته 42% من مساحة الحوض، وهو ما ينعكس على الخصائص الهيدرولوجية، وخاصة على حجم الجريان وتصريف الذروة للسيول.

ب) الخصائص الجيومورفولوجية والشكلية لمنطقة البحث :

يستمد حوض وادي عرنة معظم مياهه من المجاري العليا عند الجرف الإنكساري لمنطقة شمال شرقه ومنطقة الهداء، وذلك عند ارتفاعات يصل أقصاها إلى 1791 م، وذلك عند الحدود الشرقية للحوض، بينما يصل أدناها 310 م عند المجرى الأدنى للحوض (شكل 3)، أما طول المجرى الرئيسي لوادي عرنة فيصل 50 كم بانحدار لا يتجاوز 29.3% (جدول 1).

جدول (1) : الخصائص الجيومورفولوجية والشكلية لمنطقة الدراسة.

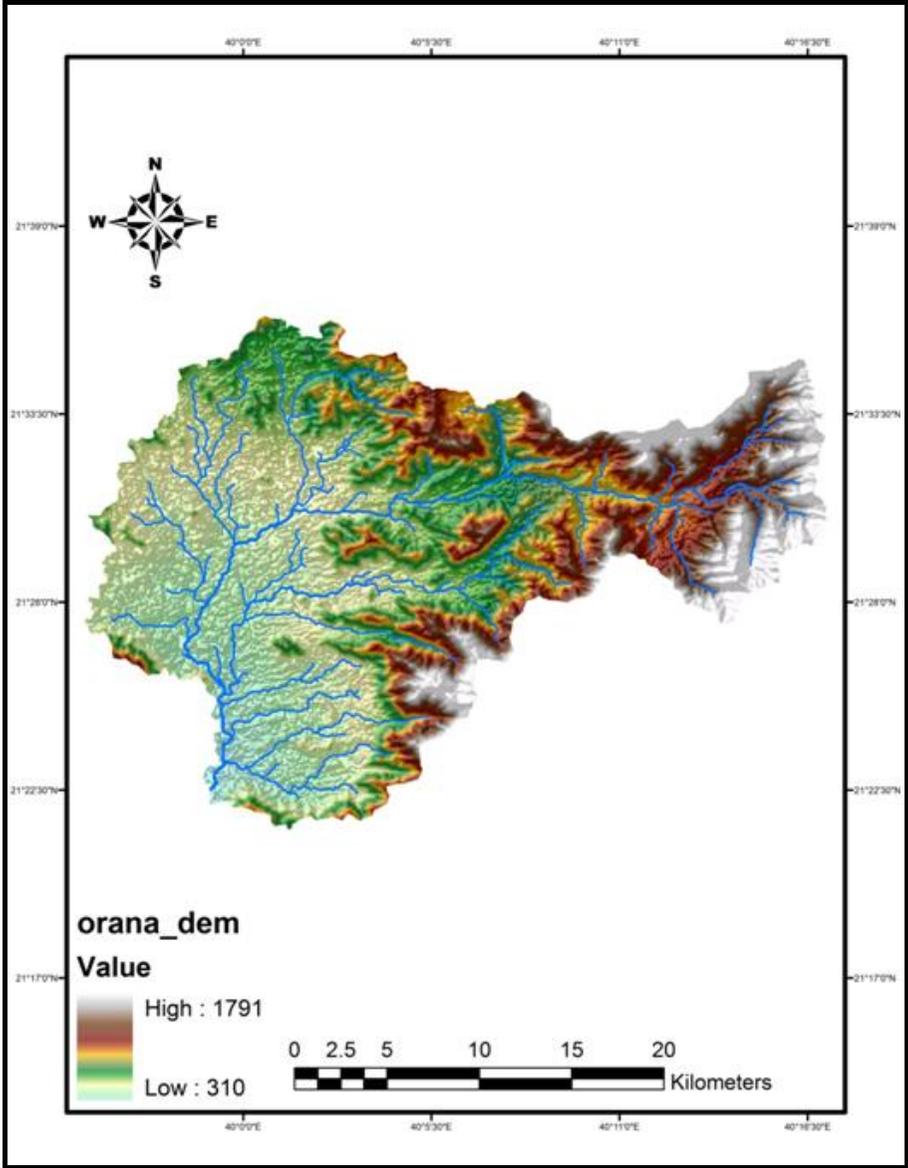
565.3	المساحة (كم)
143.9	المحيط (كم)
310	الارتفاع الأدنى (م)
1791	الارتفاع الأقصى (م)
645	الارتفاع المتوسط (م)
38.1	طول الحوض (كم)
18.1	عرض الحوض (كم)
50	طول المجري الرئيسي (كم)
21.5	متوسط انحدار الحوض (%)
29.3	متوسط انحدار المجري الرئيسي (م/كم)
24.75	المسافة بين مركز ثقل الحوض والمصب (كم)
0.55	معامل الاستدارة
0.262	نسبة الاستطالة
0.389	عامل الشكل
1213	مجموع أطوال المجاري



شكل (3) : الخريطة الكنتورية لحوض وادي عنة.

أما انحدار سطح الحوض فلا يزيد عن 21.5% وهو ما يعكس طبيعة الحال الطبيعية التلالية والسهلية للحوض (شكل 4). حيث لا تزيد أعلى نقطة في مجراه الأعلى الذي يمثله وادي الصدر عن 1791 م والواقعة عند الجرف الانكساري في منطقة شرقية شمال الهدى إلا أنه يصرف أيضا مياه السفوح الشمالية الغربية لجبل ككب وامتداداته والذي يمثل كتلة جبلية منفردة تشكل خط تقسيم المياه بينه وبين وادي نعمان، وأهم روافد هذه السفوح تتمثل بكل من وادي البجدي وواحي المجاز وواحي ككب وغيرها من الروافد

وتكمن أهمية هذه الروافد في تموضع أحواضها قرب المجرى الأدنى لوادي عرنة وهو ما ينعكس على خصائص الجريان في الوادي.



شكل (4) : الخريطة التضاريسية لحوض وادي عرنة.

ويبدو من خلال الملاحظة المستمرة للجريان في أودية المناطق الجافة عموماً أنه لا يشغل سوى نظاماً ضيقاً من القطاع العرضي للمجرى الواسع باستثناء الحالات النادرة التي تسببها عواصف مطرية متباعدة سواء في زمانها أو مكانها. ومن ثم فإن معظم الأودية الصحراوية إن لم تكن جميعها هي أودية ضامرة حالياً من فترات مطيرة كان فيها الجريان أعظم بكثير مما هو عليه الآن سواء في كمياته أو تكرار حدوثه. ومن ثم كان هذا الجريان هو من أنشأ هذه الأودية الواسعة والتي انحسرت في الوقت الحاضر لتجري في مجار ضيقة تاركة بقية القطاع العرضي للمجرى كسهول فيضية غالباً ما نشأت فوقها المزارع أو المنشآت المدنية الأخرى الناجمة عن النشاط البشري. وعلى الرغم من ذلك فإن ظاهرة الفيضان المعروفة في المناطق المعتدلة لا تحدث إطلاقاً في المناطق الجافة لأن حدوث الفيضان في تلك المناطق يرتبط بتجاوز كميات المياه المتدفقة من جميع الروافد إلى المجرى الرئيسي طاقة هذا الأخير على استيعابها مما يجعله يفيض على جوانب قنوات المجاري غامراً بذلك السهول الفيضية على الجانبين وهو نادراً ما يحدث في المناطق الصحراوية الجافة. وقد دفعت مشكلة السيول التي تشهدها المناطق الجافة إلى البحث عن طرق كمية تهدف إلى البحث عن العلاقة بين خصائص الأحواض وحدث السيول عن طريق تحديد العوامل المؤثرة في المخطط المائي (الهيدروجراف) لهذه الأحواض ومن ثم التنبؤ بشكل دقيق بحجم وشكل هذه المخططات المائية بغية التحذير من السيول فيما يتعلق بوقتها أو شدتها أو لتصميم العبارات أو الجسور المناسبة لأقصى تصريف لها.

ونظراً لما تتطلبه عملية رسم المخطط المائي للأحواض من بيانات مطرية مسجلة أو بيانات عن التدفق قد لا تتوفر في المناطق الجافة فقد لجأ الهيدرولوجيون إلى بيانات الخصائص الجيومورفولوجية للأحواض المعروفة بثباتها من أجل اشتقاق الهيدروجراف لهذه الأحواض.

والمعروف أنه بعد حدوث أي عاصفة مطرية فإن معدل كمية الجريان داخل

الأحواض ستتأثر بعدة عوامل أهمها عمليات التبخر ورطوبة التربة وطريقة استغلال أراضي الأحواض والغطاء النباتي وغيرها من العوامل التي قد لا يمكن الحصول على بياناتها أيضاً. بينما نجد أن خصائص الأحواض تتحكم بشكل أوضح بوصول موجة الفيضان أو السيل إلى مخارج الأحواض أو محطات القياس ومن أهم هذه العوامل جيومورفولوجية الأحواض المتمثلة بالخصائص الطبيعية لها كالمساحة والشكل والانحدار وطول المجرى الرئيسي نظراً لما تلعبه هذه الخصائص من دور في تحديد شكل مخطط الهيدروجراف وأهمها تحديد زمن الاستجابة أو الوقت الفاصل بين قمة الفترة الزمنية للعاصفة المطرية وقمة أو ذروة التصريف.

1- مساحة الأحواض :

من المعلوم أن لمساحة الحوض دور كبير في تحديد كميات المياه المتلقاة من العواصف المطرية فالعلاقة طردية بينهما، ومن ثم تزداد قمة التصريف ارتفاعاً مع ازدياد كميات الأمطار الساقطة على الحوض. وغالباً ما تدخل مساحة الحوض في جميع عمليات رسم مخطط الماء (الهيدروجراف) لهذه الأحواض. كما أن زيادة المساحة غالباً ما تؤدي إلى قلة انحدار الأحواض والعكس صحيح. إلا أن الخصائص الأخرى كالارتفاع مثلاً تلغي مثل هذه الاستنتاجات وقد وصلت مساحة حوض وادي عرنة حتى التقائه بمشعر عرفات 565 كم².

2- انحدار وارتفاع الأحواض :

يتحكم كل من الانحدار وارتفاع الأحواض بشكل مباشر وغير مباشر على قمة التصريف سواء أكان انحدار الأحواض أو انحدار المجرى الرئيسي وقد وصل ارتفاع حوض وادي عرنة 1791 م فوق مستوى سطح البحر وأدنى مستوى 310 أمتار، أما انحدار الحوض فقد وصل 21.5%، في مقابل متوسط انحدار للمجرى الرئيسي وصل 29.3 م/كم، وقد أثبتت قياسات المجرى الرئيسي قيمتها عند اشتقاق الهيدروجراف لحوض منطقة البحث.

3- شكل الأحواض Shape Factor :

يلعب شكل الحوض دوراً هاماً في تحديد قمة الجريان والكثير من الخصائص الهيدرولوجية الأخرى وخاصة من خلال مقارنته بالسلمات الشكلية الأخرى كالاستدارة والاستطالة وغيرها. وتحكمها كلها بسرعة الجريان وقمة التصريف ويمكن حساب عامل الشكل من المعادلة التالية:

معادلة (1)

$$F = A/Lb^2 \text{ (Horton, 1945, p. 353)}$$

حيث أن

$$F = \text{عامل الشكل.}$$

$$A = \text{مساحة الحوض (كم}^2\text{)}$$

$$Lb^2 = \text{مربع طول الحوض.}$$

ويتضح من خلال الجدول رقم (1) أن معامل الشكل قد وصل 0.389 في حوض وادي عرنة.

ويتضح من خلال هذه القيمة أن حوض وادي عرنة بعيد جداً عن القيمة المطلقة لعامل الشكل والبالغة (0.785). حيث تتجمع معظم روافده عند مجراه الأدنى، بينما يتسم حوضه الأعلى بالضيق بشكل واضح.

4- معامل الاستدارة Basin Circularity :

يتم استخراج استدارة الأحواض من خلال قسمة مساحته على مساحة دائرة يساوي محيطها محيط الحوض نفسه وذلك حسب المعادلة التالية:

معادلة (2)

$$R_C = \frac{A}{Ac} \text{ (Strahler, 1968, p. 903)}$$

حيث أن :

$$A = \text{مساحة الحوض (كم}^2\text{)}.$$

$$Ac = \text{مساحة دائرة لها محيط يساوي محيط الحوض (كم}^2\text{)}$$

$$Rc = \text{معامل استدارة الحوض.}$$

وعادة فإن اقتراب القيمة الناتجة من الرقم 1 يشير إلى زيادة استدارة الحوض والعكس صحيح. وقد وصل معامل استدارة حوض وادي عرنة 0.550 وهو ما يشير إلى قلة استدارته وبالتالي فإن وصول مياه الجريان نحو المجرى الرئيسي ستستغرق وقتاً أكبر، الأمر الذي يجعل زمن الاستجابة أيضاً أكثر طولاً.

5- نسبة الاستطالة Elongation Ratio :

تعد نسبة الاستطالة من المعايير المستخدمة أيضاً في تحديد أشكال الأحواض وتحسب عادة من قسمة قطر دائرة تساوي مساحتها مساحة الحوض المائي (كم) على أقصى طول للحوض (كم) وذلك من المعادلة التالية:

معادلة (3)

$$Re = \frac{Dc}{Lb} \quad (\text{Schumm, 1956})$$

حيث أن :

$$Re = \text{نسبة استطالة الحوض.}$$

$$Dc = \text{قطر دائرة لها مساحة تساوي مساحة الحوض (كم).}$$

$$Lb = \text{أقصى طول للحوض المائي (كم).}$$

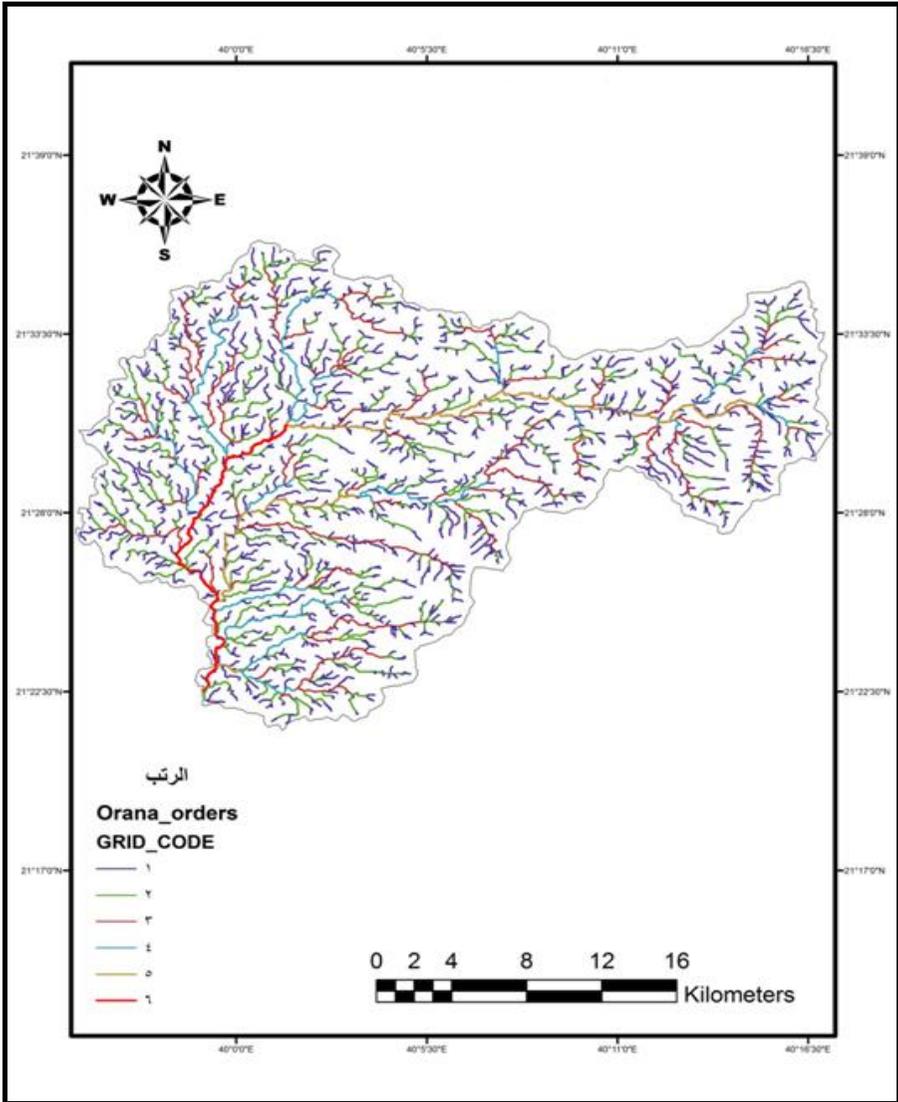
وغالباً ما تلعب زيادة الاستطالة (قرب الحوض من الشكل المستطيل) دوراً هاماً في تأخير كل من زمن الاستجابة وزمن التركيز Time of concentration والوصول إلى ذروة (قمة) التصريف للعديد من الأسباب. وقد أظهرت النتائج أن استطالة حوض وادي عرنة عالية نسبياً (0.262) وهو ما ينعكس أيضاً على خصائص

السيول في الحوض حيث يتأخر فيه زمن الاستجابة لاستنطالته وقطع مسافة أكبر على طول المجرى الرئيسي مما يؤدي إلى تسرب كميات كبيرة من مياه الجريان. إلا أن م يتميز به الحوض من تموضع أحواضه الجزئية كما ذكر سابقاً جعلته أكثر خطورة مما هو متوقع.

6- شبكة التصريف المائي :

تم تصنيف مجاري شبكة التصريف المائي لحوض وادي عرنة إلى رتب بحسب طريقة ستريلر Strahlar وتبين خريطة الشبكة المائية، وصول وادي عرنة إلى الرتبة السادسة (شكل 5)، أما أعداد مجاري الرتبة الأولى (وهي اللاعبة الأساسية في سرعة الاستجابة نظراً لانحداراتها الشديدة) فقد بلغت 1429 مجرى. وهو ما يشير أيضاً إلى كفاءة الجريان وسرعته، كما بلغ الطول الإجمالي للشبكة المائية 1213 كم، وهو ما انعكس على كثافة التصريف التي بلغت 2.14 كم²/كم.

ورغم كثرة الحديث عن دور الخصائص المورفولوجية لشبكات التصريف في التأثير على الجريان إلا أن عدد قليل من هذه الخصائص أثبت تأثيره المباشر على ذلك. وقد تم استنتاج أن سرعة استجابة أي حوض للوصول إلى ذروة التصريف هو دليل على تطور شبكته. وعلى العكس من ذلك فإن تأخير زمن الاستجابة يدل على عدم تطور الشبكة. بينما لم تثبت علاقة زمن الاستجابة بكل من رتبة المجرى أو نسبة التفرع أو كثافة التصريف، فإن طول المجرى الرئيسي كان له أكبر الأثر في تحديد قمة التصريف إذا ما ترافق مع زيادة في انحدار المجرى الرئيسي. وقد تبين من خلال حساب المتغيرات المذكورة أن طول المجرى الرئيسي لوادي عرنة (50 كم) وانحدار مجراه (29.3 م/كم) وهو ما أدى إلى زيادة زمن التباطؤ (زمن الاستجابة) فيه إلى 12 ساعة، وربما يتوافق ذلك مع زمن التركيز T_c وخاصة فيما إذا سقطت الأمطار على كامل الحوض. إلا أن زمن الاستجابة يقل كثيراً عن ذلك بسبب ما ذكر عن وقع أحواضه قرب المصب.



شكل (5) : رتب التصريف النهري لشبكة حوض وادي عرنة.

ويمكن من خلال العرض السابق للخصائص الجيولوجية والجيومورفولوجية لحوض وادي عرنة إدراك مدى مساهمة الحوض في تحويل مياه الأمطار إلى جريان سطحي وعلى الرغم مما تبدو عليه خصائص الحوض من قلة انحدار حوضه وارتفاع

نسبة مساحات الرواسب الرباعية الفتاتية المنفذة، إلا أن الخصائص الجيومورفولوجية والشكلية لهذا الحوض والمتمثلة بتموضع أحواض روافده قرب المجرى الأدنى يلعب دوراً هاماً في زمن تصريف الذروة. وهو ما يمكن التوصل إليه بعد تطبيق النماذج الرياضية في تقدير الجريان السطحي.

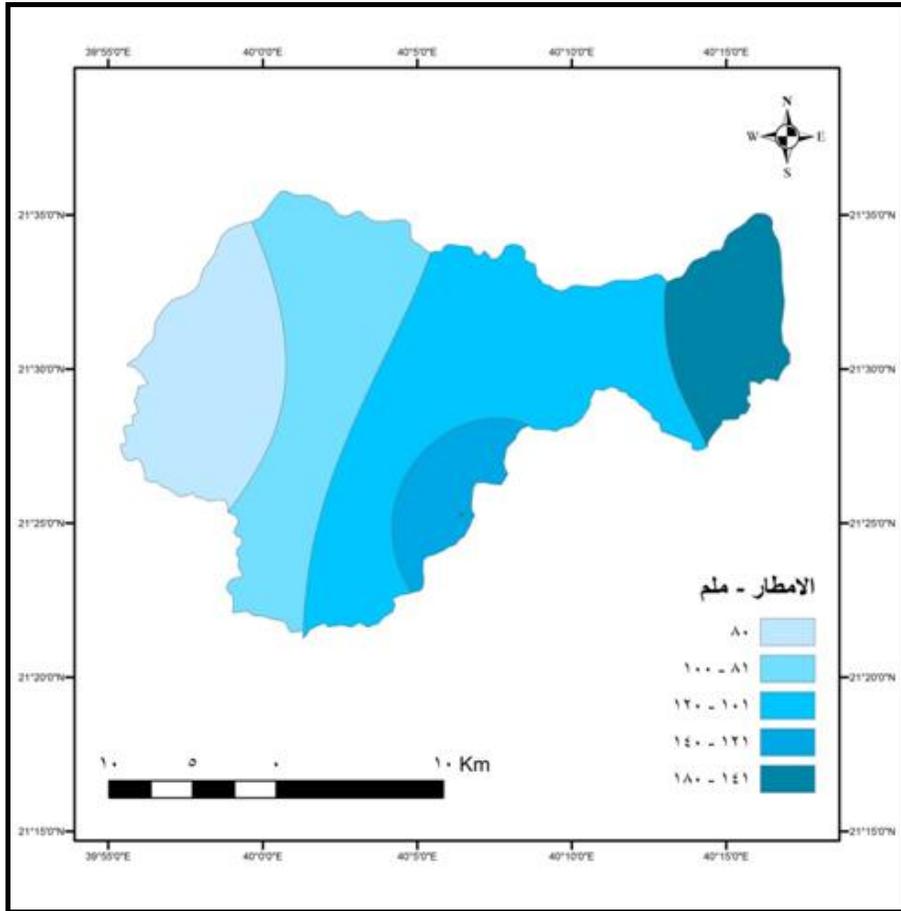
ج) الخصائص المناخية :

تلعب الخصائص المناخية عادةً دوراً هاماً في عملية حساب الميزانية المائية لأحواض التصريف النهري، إلا أن خصوصية البحث المتمثلة في تقدير تصريف الذروة وحجم الجريان عقب العواصف المطرية يجعل من كميات الأمطار الساقطة على الأحواض المدروسة خلال ساعات العاصفة المطرية ذو أولوية خاصة في هذا البحث، فالعناصر المناخية رغم أهميتها إلا أنه يمكن إهمالها في هذا المقام، فالحرارة والرطوبة والرياح والإشعاع الشمسي ودورها كلها في عمليات التبخر يمكن إهمالها نظراً لأن كميات التبخر الحقيقي (يقصد به ما يتم تبخيره خلال فترة العاصفة المطرية) لا تكاد تذكر، ومن ثم يمكن اعتبار كل من التساقط وخصائص الأحواض هي العوامل الأساسية المؤثرة في الجريان السطحي.

وترتبط درجات السيول عادة بالأمطار المسببة لها مع الأخذ بعين الاعتبار القدرة التسريبيه والتخزينية لأحواض التصريف. كما أنه من الصعوبة بمكان تقدير شدة ومدة وتوزيع الأمطار على امتداد الأحواض نظراً لغياب مثل هذه القياسات في منطقة البحث، إلا أن عملية الربط بين الوصول إلى قمة التصريف وكثافة فترة العاصفة المطرية قد لاقت نجاحاً في المخططات المائية (الهيدروجراف) للأحواض المقاسة في العديد من المناطق، ومن ثم فهي بلا شك تنطبق على المخططات المائية المشتقة. وفيما يلي عرضاً للسجلات السنوية للأمطار والقيم القصوى لها، إضافة للقيم اليومية القصوى والعاصفة المطرية التي تم تسجيلها في منطقة البحث.

1- السجلات السنوية للأمطار والقيم القصوى لها :

بما أن معدلات الأمطار لا تعكس القيمة الحقيقية لمدى مساهمتها في الجريان السطحي كما تظهرها خرائط خطوط المطر المتساوي (شكل 6) والتي يصل أقصاها عند المجاري العليا لمنطقة البحث 200 ملم، وأدناها عند المجاري الدنيا لها والتي لا تزيد عن 120 ملم فإن التساقطات المطرية المتطرفة والمرتبطة بالعواصف المطرية هي الأكثر فعالية في الجريان.



شكل (6) : خريطة خطوط المطر المتساوي لحوض وادي عرنة.
وغالباً ما نجم عن هذا الترابط بين القيم المتطرفة للتساقط المطري والجريان

السطحي سيول عرمة أزھقت في الماضي العديد من الأرواح. وكانت بعض الدراسات (شومان، سامر أحمد، 1418 هـ) قد قسمت السيول في مدينة مكة المكرمة الى ثلاث مستويات : حيث تكررت سيول الدرجة الأولى (العرمة) مرة كل 46 عاماً، بينما تكررت سيول الدرجة الثانية مرة كل 33 عاماً أما سيول الدرجة الثالثة فقد تكررت كل 13 عاماً.

ويرى بعض الباحثين أن آخر سيل من الدرجة الأولى حدث عام 1969م وهو ما يعني أن بالإمكان تكرره خلال السنوات العشر القادمة، وهو ما قد يمثل خطورة على الحجاج في المشاعر المقدسة (مرزا وأحمد، 2001، ص 78).

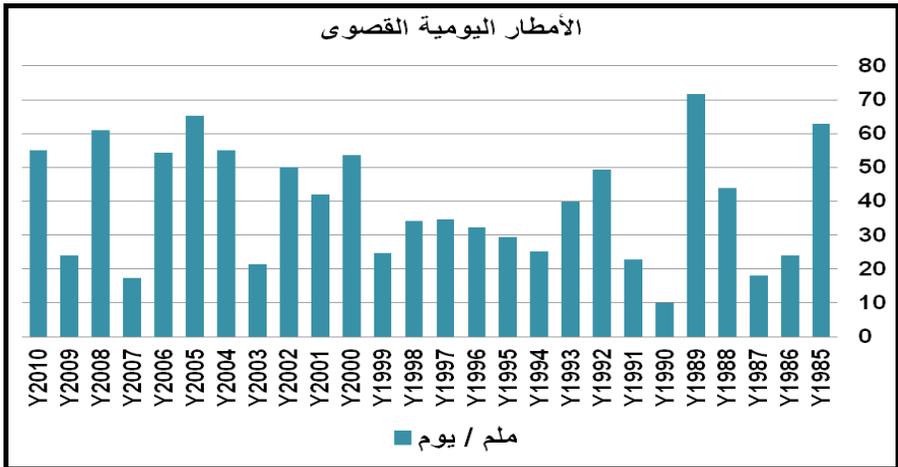
وتتمثل محطة مكة المكرمة كما هو معلوم المجاري الدنيا لمنطقة البحث والتي تعد تهامية الموقع ومن ثم فمن المتوقع أن تزيد الأمطار كثيراً في المناطق الجبلية. وقد سجلت محطات المجاري العليا لمنطقة البحث (المناطق الجبلية) أمطاراً سنوية وصلت إلى قيم متطرفة خلال الأعوام الثلاثين الماضية الممتدة بين عامي 1970 و 2000 حيث سجلت 342 ملم عند حافة الهدا. ويبدو أن غياب البيانات اللحظية واليومية لسجلات هذه الأمطار لا يجعل منها سوى مؤشر على معدلات التساقط وليس على كثافته.

2- السجلات اليومية القصوى للأمطار في منطقة البحث :

تراوحت كميات الأمطار اليومية الساقطة على محطة مكة المكرمة في الفترة الممتدة من عام 1985 وحتى عام 2010 بين 10 و 71 ملم (جدول 2، شكل 7) وهي غالباً ما تسقط خلال فترة زمنية تتراوح ما بين ساعة وساعتين، ومن ثم يمكن اعتبارها ممثلة لفترة العاصفة المطرية التي تتصف بها العواصف في مثل هذه المناطق.

جدول (2) : كميات المطر اليومية القصوى في مكة المكرمة بين عامي 1985-2010م.

السنة	ملم/يوم	السنة	ملم/يوم	السنة	ملم/يوم
١٩٨٥	٦٣	١٩٩٤	٢٥,١	٢٠٠٣	٢١,٤
١٩٨٦	٢٤	١٩٩٥	٢٩,٤	٢٠٠٤	٥٥
١٩٨٧	١٨	١٩٩٦	٣٢,٢	٢٠٠٥	٦٥,٢
١٩٨٨	٤٣,٨	١٩٩٧	٣٤,٦	٢٠٠٦	٥٤,٤
١٩٨٩	٧١,٧	١٩٩٨	٣٤,١	٢٠٠٧	١٧,٤
١٩٩٠	١٠	١٩٩٩	٢٤,٧	٢٠٠٨	٦١,١
١٩٩١	٢٢,٧	٢٠٠٠	٥٣,٧	٢٠٠٩	٢٤
١٩٩٢	٤٩,٤	٢٠٠١	٤٢	٢٠١٠	٥٥
١٩٩٣	٤٠	٢٠٠٢	٥٠		



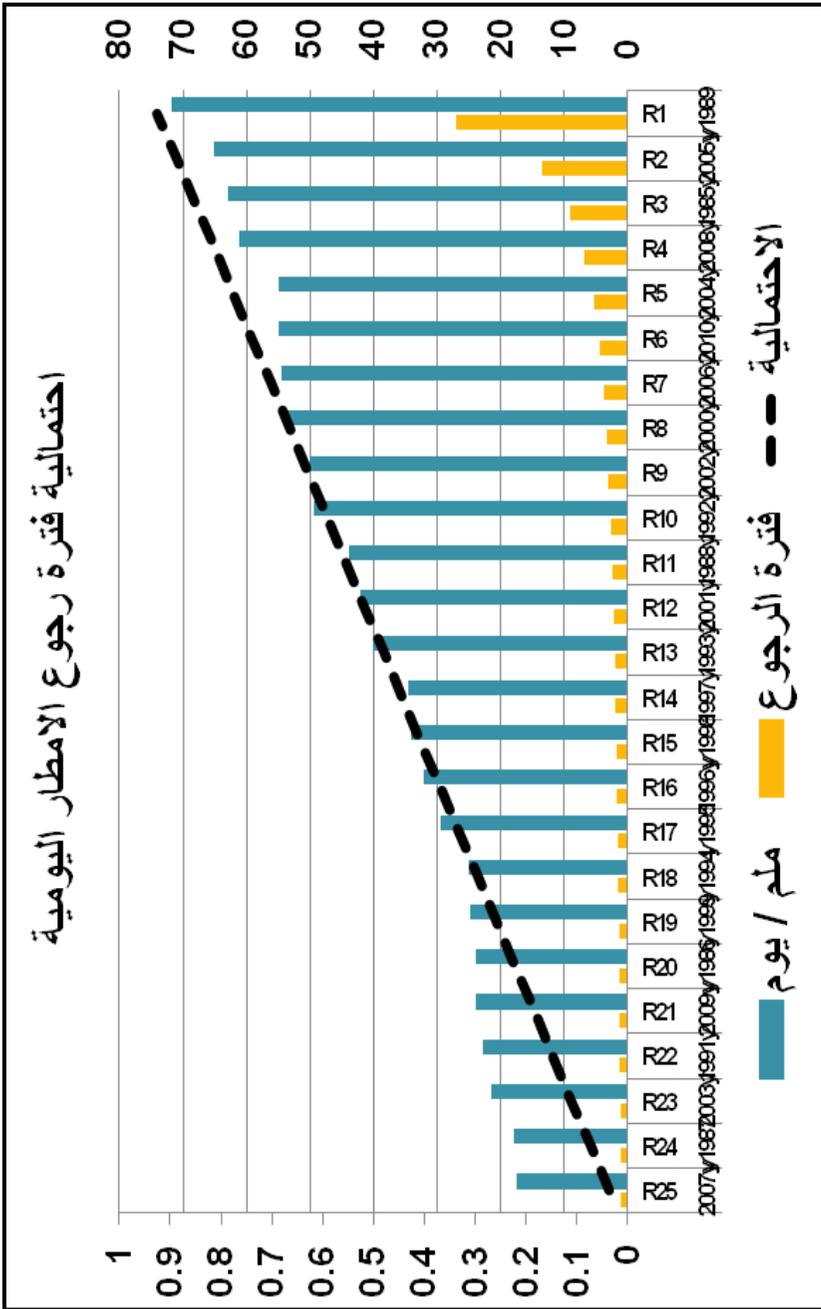
شكل (7) : الأمطار اليومية القصوى للفترة ما بين 1985-2010م.

وكما يتضح من الجدول (3) والشكل (8) يمكن تكرار كمية المطر اليومي القصوى كل 27 عاما في منطقة البحث والتي وصلت 71.7 ملم وهو ما ينجم عنه سيول عرمة، كما يظهر من الجدول (3) القيم الاحتمالية لسقوط الأمطار العاصفية في المنطقة.

جدول (3) : فترة الرجوع والاحتمالية للأمطار اليومية القصوى

لمدينة مكة المكرمة بين عامي 1985-2010م.

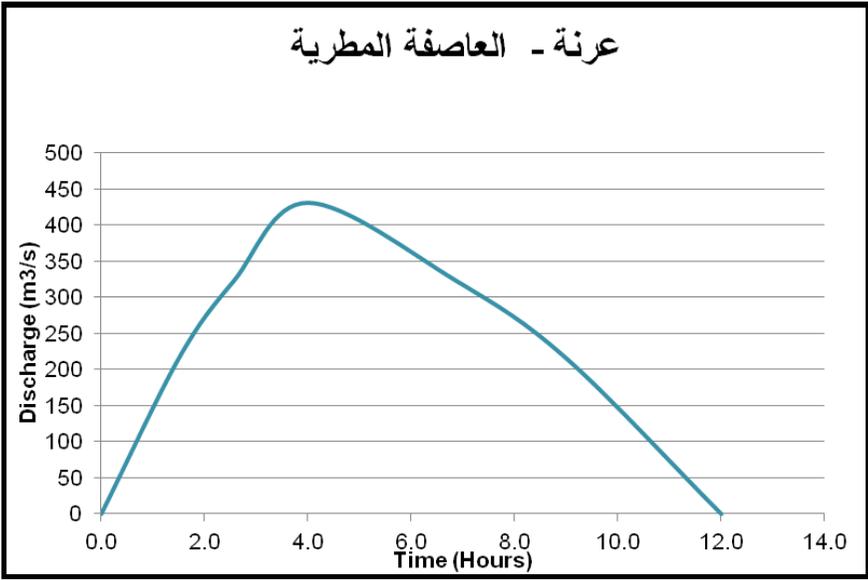
الاحتمالية	فترة الرجوع	الترتيب	ملم / يوم	السنة
٠,٠٣٧	٢٧	١	٧١,٧	١٩٨٩
٠,٠٧٤	١٣,٥	٢	٦٥,٢	٢٠٠٥
٠,١١١	٩	٣	٦٣	١٩٨٥
٠,١٤٨	٦,٧٥	٤	٦١,١	٢٠٠٨
٠,١٨٥	٥,٤	٥	٥٥	٢٠٠٤
٠,٢٢٢	٤,٥	٦	٥٥	٢٠١٠
٠,٢٥٩	٣,٨٥	٧	٥٤,٤	٢٠٠٦
٠,٢٩٦	٣,٣٧	٨	٥٣,٧	٢٠٠٠
٠,٣٣٣	٣	٩	٥٠	٢٠٠٢
٠,٣٧٠	٢,٧	١٠	٤٩,٤	١٩٩٢
٠,٤٠٧	٢,٤٥	١١	٤٣,٨	١٩٨٨
٠,٤٤٤	٢,٢٥	١٢	٤٢	٢٠٠١
٠,٤٨١	٢,٠٧	١٣	٤٠	١٩٩٣
٠,٥١٨	١,٩٢	١٤	٣٤,٦	١٩٩٧
٠,٥٥٥	١,٨	١٥	٣٤,١	١٩٩٨
٠,٥٩٢	١,٦٨	١٦	٣٢,٢	١٩٩٦
٠,٦٢٩	١,٥٨	١٧	٢٩,٤	١٩٩٥
٠,٦٦٦	١,٥	١٨	٢٥,١	١٩٩٤
٠,٧٠٣	١,٤٢	١٩	٢٤,٧	١٩٩٩
٠,٧٤٠	١,٣٥	٢٠	٢٤	١٩٨٦
٠,٧٧٧	١,٢٨	٢١	٢٤	٢٠٠٩
٠,٨١٤	١,٢٢	٢٢	٢٢,٧	١٩٩١
٠,٨٥١	١,١٧	٢٣	٢١,٤	٢٠٠٣
٠,٨٨٨	١,١٢٥	٢٤	١٨	١٩٨٧
٠,٩٢٥	١,٠٨	٢٥	١٧,٤	٢٠٠٧
٠,٩٦٢	١,٠٣	٢٦	١٠	١٩٩٠



شكل (8) : احتمالية فترة رجوع العواصف المطرية.

3- سجل العاصفة المطرية 2010 والسييل الناجم عنها :

غطت العاصفة المطرية منطقة الحوض الأدنى لوادي عرنه وبالذات فوق حوض البجيدي الذي يشكل الحوض الثاني الجزئي بعض حوض وادي الشرايع، ويصرف هذا الحوض السفوح الشمالية الغربية والشمالية لجبلي ككبك وسعد. وقد استمرت العاصفة عدة ساعات ابتداء من الساعة 4:30 عصرا حتى الساعة 6:30 مساء (هطل خلالها 55 مليمترا) وقد شوهدت خطوط الجريان المنحدرة بغزارة على هذه السفوح وبشكل مميز. كما اتصف الجريان الذي بدا بعد اقل من ساعة بقوته في المجرى الرئيسي الذي سرعان ما وصل إلى بداية عرفات نظرا لقرب حوضه وتموضعه قرب المصب (نقطة القياس) كما اتصف الجريان بضعف التسرب نظرا لقصر زمن انتقال travel time السيل الى المجرى الرئيسي، وهو ما انعكس على خصائص هيدروجراف السيل لهذه العاصفة (شكل 9) وتعد النقطة التي تم اختيارها لقياس خصائص السيل والواقعة عند بداية النقاء وادي عرنه بمشعر عرفات نقطة نموذجية للقياس flume حيث بالإمكان قياس التصريف عندها نظرا لأبعادها وشكلها المحدد بالقطاع العرضي للوادي المحاط بجوانب إسمنتية (اتساع 130 مترا وارتفاع 4 أمتار). وقد بدأ العمل عند النقطة المذكورة أعلاه لعملية حساب تصريف الذروة للسيل من خلال تحديد زمن الاستجابة t_b وزمن الوصول للذروة T_p الذي حدث بعد أربع ساعات من بداية العاصفة المطرية واقترب ارتفاع السيل من عوارض بعض الجسور (صورة 1)، كما وصل ارتفاع السيل إلى ذروته 1.6 م (قيست بعد انتهاء السيل على أعمدة الجسور) (صورة 2) ليبدأ بالانحسار بعد الساعة التاسعة مساء حتى انتهاء الجريان في الخامسة صباحا وهو ما يعني أن زمن الأساس للسيل قد وصل 12 ساعة، وكان لا بد لتقدير حجم تصريف الذروة عند نقطة القياس من اللجوء إلى طريقة لتحديد سرعة تيار السيل، وقد تم ذلك فيما بعد باستخدام طريقة manning method والتي تعتمد أساسا على معدل انحدار المجرى ومساحة القطاع العرضي والمحيط المبلل للمجرى إضافة إلى معامل خشونة القاع وذلك على النحو التالي :



شكل (9) : هيدروجراف السيل الناجم عن العاصفة المطرية في 2010/2/13.



صورة (1) : ارتفاع السيل على أعمدة الجسور ووصوله الى العوارض الحاملة له.



صورة (2) : الأثر الذي تركه السيل على أعمدة الجسور وهو ما يشير الى ارتفاعه.

المعادلة (4) :

$$V = C \frac{(R)^{2/3} \times (S)^{1/2}}{n}$$

حيث أن :

V = متوسط سرعة التيار في القطاع م/ثانية

C = 1 في نظام الوحدات المترية

R = نصف القطر الهيدروليكي للمجري المائية

S = معدل انحدار المجرى م/كم

n = معامل خشونة قاع المجرى (تقدر بحسب إعاقه الجريان وتكوينات القاع من جدول معامل الخشونة (Manning)).

وقد تم استخراج نصف القطر الهيدروليكي من المعادلة التالية:

المعادلة (5)

$$R = \frac{A}{P}$$

حيث أن :

R = نصف القطر الهيدروليكي

A = مساحة القطاع العرضي لجريان السيل (م²)

P = المحيط المبلل للمجرى (م)

وتطبيقا للمعادلة :

$$A = 1.6 \times 130 = 208 \text{ m}^2$$

$$P = (1.6 \times 2) + 130 = 133.2 \text{ m}$$

$$R = \frac{208}{133.2} = 1.56$$

ومن ثم يمكن حساب سرعة التيار (السيل) على النحو التالي :

$$V = \frac{(1.56)^{2/3} (0.006)^{1/2}}{0.050}$$

$$V = \frac{1.34 \times 0.0774}{0.050} = 2.07 \text{ m}^3/\text{s}$$

وقد تم حساب حجم الجريان بعد حساب سرعة التيار بحسب المعادلة التالية :

المعادلة (6)

$$Q = A \times V$$

حيث أن :

$$Q = \text{حجم التصريف م}^3/\text{ثانية}$$

$$A = \text{مساحة القطاع العرضي للمجرى (م}^2\text{)}$$

$$V = \text{معدل سرعة السيل م/ثانية}$$

وبتطبيق المعادلة كانت النتيجة على النحو التالي :

$$Q = 208 \times 2.07 = 431 \text{ m}^3/\text{s}$$

ويمكن اعتبار هذه النتيجة كأول عملية قياس لحجم تدفق الذروة للسيول في وادي عرنة والتي يمكن مقارنتها مع نتائج تطبيق النماذج النظرية كنموذج سنايدر من خلال البحث. خاصة بعد أن تم اشتقاق وتحديد قيمة معاملي تدفق الذروة peak flow factor (ct) وزمن تدفق الذروة time of peak flow (cp) عند 0.08 و 6.0 على التوالي، ومن ثم إمكانية تطبيقها على حوض منطقة البحث.

ثانياً : الإطار النظري للبحث والدراسات السابقة.

تم الفصل ما بين كل من الإطار النظري للبحث الذي يعالج البداية الأولى للنماذج الهيدرولوجية ومنها نموذج سنايدر والتعديلات التي طرأت عليه، والدراسات السابقة لمنطقة البحث والمتعلقة بهذا النوع من الدراسات.

أ) الإطار النظري للبحث :

ترجع عمليات الربط بين المطر والجريان السطحي باستخدام النماذج الرياضية الى العالم شيرمان Sherman 1932 حيث قدم نظرية كان الهدف منها إيجاد العلاقة بين المطر والجريان السطحي وتتمثل في تثبيت تأثير الأمطار والتي هي بالتأكيد في حالته الطبيعية تكون متغيرة مع الزمن فجعلها تمثل وحدة عمق واحدة (1 سم أو 1 إنش) في وحدة زمنية معينة (1 ساعة أو 1 يوم) وهكذا نتج التصريف عن هذه الأمطار وحدة واحدة أيضاً وهذا التصريف أطلق عليه وحدة الهيدروجراف وقد عرفت فيما بعد بـ (نظرية وحدة الهيدروجراف Hydrograph Unit) ونعني بمصطلح وحدة الهيدروجراف تغير تصريف النهر مع الوقت لفترة زمنية محددة من الأمطار عندما يكون عمق المطر المؤثر وحدة عمق واحدة (سننيمتراً أو إنشاً واحداً) ومن هنا جاءت تسمية وحدة الهيدروجراف، وقد تنوعت هذه الطرق بتنوع البيانات والأنظمة المستخدمة في إيجاد العلاقة بين المطر والجريان (الدليمي، 2006، ص 138).

وقد تعددت الطرق في الوقت الحاضر وأصبحت متاحة بشكل أفضل لتحديد وتطبيق وحدة الهيدروجراف وتتشرك جميع الطرق بمفهوم واحد عنها، حيث أن نسبة قمة الجريان على حجم الجريان لوحدة الزمن هي ثابتة للحوض نفسه.

وتعتبر وحدة مخطط الهيدروجراف التي تصورها Sherman 1932 عبارة عن مجموعة من الإحداثيات (زمن - تصريف) ومستمدة مباشرة من أحواض مقاسة، أما وحدة الهيدروجراف المشتقة للأحواض غير المقاسة فتستخدم معادلات بمعاملات مُعرفة وذلك لتحديد التصريف عند أي نقطة في الهيدروجراف، وتملك هذه المعاملات المستخدمة قيمة هيدرولوجية، كزمن الهيدروجراف للوصول لذروة التصريف، ويمكن تقدير المعاملات من بيانات لأحواض مقاسة أو البيانات الطبيعية للأحواض. ويمكن تصنيف طرق اشتقاق وحدة الهيدروجراف بناء على نوعية البيانات المستخدمة والمتاحة ويمكن تلخيصها على النحو التالي :

- طرق استخدمت بيانات حوض النهر فقط في اشتقاق وحدة الهيدروجراف، مثل طريقة (Snyder) في سنة 1938م.
- طرق استخدمت بيانات الأمطار والتصاريف معاً في اشتقاق وحدة الهيدروجراف مثل طريقة المربع الأدنى المستخدمة من قبل الباحثين (Dooge) و (Brune) سنة 1984م.
- طرق استخدمت بيانات التصاريف فقط، كطريقة انتقاء الجذور المقترحة من قبل الباحثين الثلاثة (Turner, Dooge, Bree) سنة 1989م.
- طرق استخدمت بيانات حوض النهر وبيانات الأمطار، أو بيانات حوض النهر وبيانات التصريف (الدليمي، أحمد عامر، 1995).

وعلى الرغم من أن طريقة سنايدر تعتبر رائدة في اشتقاق وحدة الهيدروجراف للأحواض غير المقاسة إلا أن هناك طرق أخرى تعتمد على نفس نوعية البيانات كطريقة كلارك Clark، وطريقة SCS Method (طريقة خدمة حفظ التربة Soil Conservation Service)، وتشارك جميع هذه الطرق بأنها توظف معاملات زمنية متشابهة ولكن غير متطابقة، حيث أن طريقة NRCS تستخدم تعبير lag time للزمن، وسنايدر استخدم tp، و كلارك استخدم Tc. وكما هو واضح فإن الاختلاف بين هذه المعاملات التي استخدمت من قبل الباحثين واختلاف اصطلاحاتها تجعل المطبقين أو المستفيدين من هذه الطرق في حيرة كبيرة.

وقد حقق نموذج سنايدر انتشاراً واسعاً بفضل التعديلات التي قام بها العديد من الباحثين والهيئات ومنهم سلاح المهندسين في الجيش الأمريكي، وكل من شو (Chow et al., 1988)، وزنجبو يو (Zhongbo Yo, 1998)، وراميرز (Ramirez, 2000)، وراجوناث Raghunath 1991 و 2006 والتي شملت تغيير قيم معاملات سنايدر بما يتناسب مع الوحدات المترية بدلاً من الوحدات الإنكليزية.

1- نموذج سنايدر Snyder's Model :

قدم سنايدر طريقته للتطبيق على المناطق الجافة أو تلك التي تفتقر إلى بيانات مسجلة عن الجريان أو العواصف المطرية وتعد طريقته الأشهر في تقدير الجريان لأحواض المناطق الجافة على الرغم من وجود طرق عديدة لعلماء آخرين.

وكان سنايدر Snyder 1938 قد قدم طريقته التجريبية لاشتقاق وحدة الهيدروجراف Unit Hydrograph من خلال تحليله لهيدروجراف عدد كبير من أحواض تصريف منطقة جبال الأبالاتش في الولايات المتحدة الأمريكية والتي لا يوجد لها سجلات جريان، وتتراوح مساحاتها بين 10-10.000 ميل مربع، واختار عاملين Parameters أساسيين لتطوير وحدة الهيدروجراف، وهما عامل تدفق الذروة Peak Flow Factor.

وعامل زمن تدفق الذروة time of peak flow وهما اختصاراً ct و cp . والافتراض الرئيسي لهذه الطريقة أن الأحواض التي لها خصائص متشابهة (طبيعية وشكلية) وموجودة في نفس المنطقة سيكون لها قيم متشابهة للعاملين، وبالتالي فإن الأحواض غير المقاسة $ungaged$ والقريبة والمماثلة لأحواض مقاسة $gaged$ تكون قيم معاملات ct وكذلك cp معلومة لها يمكن عندها استخدامها في تحديد معاملات الأحواض غير المقاسة والأخذ بها، لأنه من المفترض أن يكون لها نفس القيمة. وبإدخالها ضمن النموذج مع طول الحوض ومعاملات الشكل الأخرى لاستخراج عامل التباطؤ $lag\ time$ (أو زمن الاستجابة) الخاص بالحوض ومن ثم لاستخراج وقت تدفق الذروة $Peak\ flow\ time$. وإضافة إلى ذلك فإن شكل وحدة الهيدروجراف يمكن تعريفها بشكل أعمق عن طريق تطوير علاقات محلية بين تدفق الذروة لكل وحدة مساحية وبين عرض $width$ مخطط وحدة الهيدروجراف (UH) عند 50% وكذلك 75% والتي تمثل نسبة مئوية من ذروة التدفق أو التصريف.

تبين من خلال العرض السابق لطريقة سنايدر وجود قيود هامة على تطبيق هذه

الطريقة والتي أغفلها بعض الباحثين وأول هذه القيود هي وجود حوض تم قياسه من قبل (حوض مقاس) gaged basin ومثابه في الخصائص الشكلية والطبيعية للحوض غير المقاس ungaged basin والمراد تطبيق طريقة سنايدر عليه ونقل معاملات الحوض المقاس إليه ولا بد أن يكون الحوضان المقاس وغير المقاس هدف الدراسة متشابهان بالشكل الكافي لنقل قيم عاملا الـ ct والـ cp من أحدهما للآخر ومن أهم محددات هذا التشابه: التشابه الجيولوجي والطبوغرافي، والتربة وأنماط التصريف، والمساحة، والغطاء الأرضي. وفي ظل غياب مثل هذه المحددات فلا يمكن التأكد من ملاءمة نقل المعاملات المذكورة من الحوض المقاس إلى الحوض غير المقاس.

أما أهم البيانات المطلوبة لإيجاد أو استخراج معاملات سنايدر ct و cp لحوض مقاس فتتضمن سجلات العواصف ومخططات الفيضان ومعلومات عن الحوض كالمساحة (A) وطول المجرى (Lb) وقيمة Lca وهي طول المجرى الرئيسي من المصب أو المخرج وحتى نقطة تقابل مركز ثقل الحوض (centroid) ومن ثم لنقل وحدة الهيدروجراف للحوض الآخر (غير المقاس) يجب قياس وتحديد كل من المساحة (A) وطول المجرى الرئيسي (Lb) بالإضافة إلى قيمة Lca للحوض غير المقاس وكان سنايدر قد أطلق عليها معلم شكل الحوض watershed shape parameter حسب ما جاء به ماكوين 1988 من جامعة مرييلاند (McCuen, 1998, p. 540).

وفيما يلي عرض للمعادلات الأصلية التي استخدمها سنايدر في اشتقاق وحدة الهيدروجراف.

أ) زمن التباطؤ أو الاستجابة: TL أو tp ويحسب من المعادلة التالية :

المعادلة (7)

$$Tlag = Ct (L \times Lca) 0.3$$

حيث أن:

Tlag = التباطؤ القياسي لسنايدر بالساعات (hr).

Ct = معامل التباطؤ ويعتمد على خصائص الحوض ويتراوح بين 1.8-2.2 حسب اعتقاد سنايدر.

L = طول المجرى الرئيسي من مخرج الحوض إلى حدود الحوض العليا (miles)

Lca = معلم شكل الحوض وهو (طول المجرى الرئيسي من المصب وحتى نقطة تقابل مركز جاذبية (ثقل) الحوض).

ب) الفترة الزمنية Td ويتم تحديدها (حسابها) من المعادلة التجريبية التالية:

المعادلة (8)

$$Td = Tlag/5.5$$

ج) الفترة المحسوبة بالمعادلة (8) قد لا تعطي نتائجها الزمنية المطلوبة

ولذلك استبدلها سنايدر بالمعادلة التالية لحساب الفترة البديلة التي يختارها الباحث أو تم خلالها سقوط أمطار محددة.

المعادلة (9)

$$Tlag alt = Tlag + 0.25 (Tda - Td)$$

حيث أن:

Tlag alt = هي زمن التباطؤ البديل الذي قدمه سنايدر.

Td = هي الفترة المحسوبة من المعادلة (8)

Tda = هي فترة جديدة يختارها المستخدم.

(د) حساب زمن الذروة T_p يشبه طريقة ScS حيث أن زمن الذروة يساوي زمن التباطؤ + نصف الفترة ، ويحسب من المعادلة التالية :

المعادلة (10)

$$T_p = \frac{T_d}{2} + T_{lag}$$

$$T_p = T_{lag} + 0.5 T_d \quad \text{أو}$$

حيث أن :

T_p = زمن الوصول للذروة.

T_d = زمن الفترة.

T_{lag} = زمن التباطؤ (الاستجابة).

(هـ) تصريف الذروة لوحدة الهيدروجراف Q_p : ويتم حسابه من المعادلة التالية :

المعادلة (11)

$$Q_p = \frac{640 \times A \times C_p}{T_{lag}}$$

حيث أن :

Q_p = تصريف الذروة (ft³/sec)

C_p = معامل جريان الذروة، ويعتمد على خصائص الحوض ويتراوح بين 0.5-0.7

T_{lag} = التباطؤ القياسي لسنايدر (hr)

A = مساحة الحوض (ميل مربع).

وحتى هذه المرحلة فقد سمحت لنا طريقة سنايدر بحساب الفترة duration وزمن التباطؤ the lag time وزمن الوصول للذروة the time to peak وجريان الذروة the peak flow لوحدة الهيدروجراف. إلا أن هذه الطريقة لم تقدم رسماً لوحدة الهيدروجراف ولا القاعدة الزمنية time base. وقدمت فقط قمة (ذروة) التصريف خلال وقت محدد بدون تحديد معالم شكل منحنى الهيدروجراف ومن ثم قدم سنايدر طريقته لحساب القاعدة الزمنية (زمن الأساس للسيل).

(و) حساب زمن الأساس للسيل Tb : ويتم حسابه من المعادلة التالية :

المعادلة (12)

$$Tbase = 3 + \frac{Tlag}{8}$$

حيث أن: Tbase القاعدة الزمنية (زمن الأساس للسيل) بالأيام للأحواض الكبيرة ومن ثم فهو لا يناسب الأحواض الصغيرة حيث أن المعادلة السابقة تشير إلى أن أقل قاعدة زمنية تساوي 3 أيام. وكقاعدة عامة يمكن احتساب القاعدة الزمنية من 3-5 أضعاف زمن الوصول للذروة، فإذا كان زمن الذروة يساوي 3 ساعات فإن القاعدة الزمنية تتراوح بين 9-15 ساعة. ومن المفيد تحديد معامل الضرب (3-5 أضعاف) من خلال مقارنات لنتائج معروفة. أما شكل رسم وحدة هيدروجراف سنايدر فإن أكثر الطرق شيوعاً لرسمه فتتم بواسطة تحكم معلمين زمنيين وهما : W_{50} و W_{75} وهما يشكلان السعة الزمنية لوحدة الهيدروجراف عند تصريف 50% و 75% من قمة (ذروة) التصريف وتحسب بالمعادلتين التاليتين:

$$W_{50} = 756qa - 1.081 \quad \text{المعادلة (13)}$$

$$W_{75} = 450qa - 1.081 \quad \text{والمعادلة (14)}$$

حيث أن : $qa =$ تصريف الذروة لكل ميل مربع ($qa/A, ft^3/sec/m^2i$)
أو التصريف النوعي وكقاعدة عامة يمكن رسم شكل الهيدروجراف بالبعدين من المعادلتين السابقتين، بحيث أن الثلث يحدث قبل الوصول للقمة (للذروة) والثلثين يحدثان بعدها (McCuen, 1998, pp. 540-42) ومن ثم يمكن رسم الشكل مع اعتبار أنه لا بد من ضمان وجود 1 بوصة أو وحدة جريان تحت وحدة الهيدروجراف النهائي.
2- التعديلات على طريقة سنايدر:

سبقت الإشارة إلى أن وحدات القياس التي استخدمها سنايدر كانت الميل المربع والقدم المكعب والانش إضافة إلى القيمة النموذجية التي يراها مناسبة لكل من الـ Ct والتي تتراوح بين 1.8-2.2 والـ Cp والتي تتراوح بين 0.5-0.7 وكانت هذه الوحدات والقيم من شروط سنايدر لتطبيق طريقته. إلا أن استخدام وحدات القياس المترية وانتشارها عالمياً دفع الباحثين إلى التحويل من نظام الوحدات الإنكليزية إلى نظام الوحدات المترية ومن هؤلاء راميرز Ramirez من جامعة كلورالو و زنجويو Zhongboyo 1988 من جامعة نيفادا، وشو وآخرون Chow et al 1988، وسلاح المهندسين في الجيش الأمريكي، وراجوناث Raghunath 2006 من معهد مانيبال في الهند.

وقد شمل التعديل قيم المعاملات التالية:

أ- قيمة الـ Ct التي تشتق من أحواض مقاسة مجاورة للمنطقة المراد تطبيقها عليها. وبعد أن كانت توضع في معادلة استخراج فترة استجابة الحوض TL أو tp (انظر المعادلة رقم 7). كما هي أضيف لها معامل ضرب هو C1 ويساوي 0.75 لتتلاءم مع النظام المتري وتصبح المعادلة على النحو التالي:

المعادلة (15)⁽¹⁾

$$\begin{aligned} \text{TIR} &= \text{TL}(\text{hr}) = \text{C1Ct} (\text{LLca}) 0.3 \\ &= 0.73 \times \text{Ct} (\text{L} \times \text{Lca}) 0.3 \quad (\text{Ramiraz, 2000, p. 18}) \end{aligned}$$

ب- قيمة ثابت معامل الضرب لحساب Qp والذي كان يساوي 640 في معادلة استخراج تصريف الذروة حسب الوحدات الإنكليزية (انظر المعادلة رقم 11) تغير إلى معامل ضرب C2 وأعطى قيمة 2.75 ليتلاءم مع النظام المتري وتصبح المعادلة على النحو التالي:

(1) سوف يستخدم الرمز tp فترة استجابة الحوض أو فترة التباطؤ بدلاً من الرمز TL الذي استخدمه سنايدر. وذلك عند تطبيق النموذج المعدل.

المعادلة (16)

$$q_{pR} = q_p = \frac{C_2 C_p A}{T_L}$$

$$= \frac{2.75 \times C_p \times A}{t_L}$$

(Ramirez, 2000, p. 18)

ج- تطوير علاقات اتساع وحدة الهيدروجراف عند 50% (W_{50}) و 75% (W_{75}) وهي نسبة من تصريف الذروة the peak discharge بالساعات من عرض الهيدروجراف. حيث استبدل الثابت في الوحدات الإنكليزية والذي يساوي 770 لقيمة 50% بثابت 2.14 في الوحدات المترية وذلك حسب المعادلة التالية:

المعادلة (17)

$$W_{50} = 770 (Q_p/A) - 1.08$$

$$= 2.14 (Q_p/A) - 1.08$$

واستبدل الثابت 440 لقيمة 75% بثابت 1.22 في الوحدات المترية وذلك حسب المعادلة التالية :

المعادلة (18)

$$W_{75} = 440 (Q_p/A) - 1.08$$

$$= 1.22 (Q_p/A) - 1.08$$

ب) الدراسات السابقة :

اعتمدت الدراسات المهمة بتقدير أحجام السيول ومدى خطورتها أو مساهمتها في مشاريع إقامة السدود، والتنمية على الطرق اليدوية في إجراء القياسات الخاصة بأحواض التصريف المائي، وهو ما كان يستوجب الكثير من الجهد والوقت، كما تطلب استخدام عدد من معاملات الجريان التي تعد ضرورية في حساب الجريان من المتوسطات السنوية للأمطار. وبديلاً عن الطرق اليدوية في الدراسة المورفومترية لشبكات التصريف المائي فقد تطورت البرمجيات الحاسوبية وانتشر تطبيقها في الآونة

الأخيرة في مجال الدراسات التي تناولت اشتقاق واستخلاص شبكات التصريف السطحي من المعالجة الآلية لبيانات وصور الأقمار الصناعية، أو الاعتماد على نماذج الارتفاعات الرقمية Dem وتوظيف نظم المعلومات الجغرافية GIS في الدراسات الهيدرولوجية. ولعل أهمها في هذا المجال:

دراسة الغامدي (2004م) لاستخلاص شبكة التصريف السطحي للمياه باستعمال المعالجة الآلية لبيانات صور الأقمار الصناعية في منطقة جبال نعمان بحوض وادي نعمان وخلصت الدراسة إلى أن المعالجة الآلية كانت أفضل بكثير من الطرق التقليدية وأنها حل بديل ناجح للقصور في الطرق التقليدية.

دراسة الجعدي (2005) حول استخدام صور الاستشعار عن بُعد الرقمية عالية الوضوح المكاني لتحديد امتداد فيضانات السيول في سهل الخرج جنوب شرق مدينة الرياض، واستطاعت هذه الدراسة توضيح امتداد الفيضان وتحديد المناطق المعرضة للغمر بالمياه، كما أتضح من الدراسة وجود عدد من المعوقات الاصطناعية التي صرفت مياه السيول لتغمر شمال منطقة البحث.

دراسة الغامدي (2006م) حول توظيف نظم المعلومات في استخراج بعض القياسات المورفومترية من نماذج الارتفاعات الرقمية لحوض وادي ذرى (من الروافد المهمة لوادي الليث). وقد توصل الباحث إلى أن نماذج الارتفاعات الرقمية هي بديل ناجح للأساليب التقليدية المعتمدة على استخدام الخرائط الطبوغرافية سواء في استخلاص شبكات التصريف أو القياسات المورفومترية عموماً.

دراسة الروسان والقرالة (2007م) حول استخدام نظم المعلومات الجغرافية في دراسة خصائص حوض وادي شعيب في الأردن وقد هدفت الدراسة إلى استخلاص شبكة التصريف من خلال الطريقة الآلية المعتمدة على نموذج الارتفاعات الرقمية ومقارنتها بالوسائل الأخرى. وأظهرت الدراسة وجود تباين بين الطريقة الآلية والطرق الأخرى التقليدية وذلك في مجمل الخصائص المورفومترية إضافة إلى توفير الجهد والوقت.

وقد تناولت دراسة الحربي (1428هـ) النمذجة الآلية لحوض وادي ملكان

باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ونماذج الارتفاعات الرقمية وقد أوصت الدراسة بضرورة بناء كود برمجي يستطيع حساب وتقييم جميع المتغيرات والمؤشرات لأحواض التصريف عوضاً عن التنقل بين البرامج المختلفة ومحاولة إيجاد صيغة تكاملية بينها بدلاً من ضياع الكثير من الوقت في تعلمها كما أوصت الدراسة بضرورة الاتجاه نحو استخدام التقنيات الحديثة والبعد عن نمط الدراسات التقليدية نظراً للمنافع التي تقدمها هذه التقنيات للباحثين.

أما دراسة الحواس (1428هـ) فقد وظف فيها تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لتحديد وتحليل الخصائص الهيدرولوجية لأحواض التصريف الصحراوية كما اعتمد على نموذج الارتفاعات الرقمي مع مجموعة من البرامج التقنية الأخرى في التحليل الهيدرولوجي.

أما في مجال الدراسات الهيدرولوجية فقد تعددت في المملكة والمنطقة العربية مستخدمة العديد من النماذج والطرق الكمية في تقدير الجريان السطحي، إلا أنها غالباً ما تكون مناسبة للمناطق المعتدلة التي وضعت لها هذه النماذج وليس للمناطق الجافة. وقد بدأت بعض الدراسات بتطبيق نموذج سنايدر Snyder's Model المناسب أكثر من غيره للمناطق الصحراوية التي لا تتوفر فيها محطات قياس هيدرولوجية ويعتمد على الخصائص المورفومترية والطبيعية للأحواض المائية، إلا أن معظم هذه الدراسات قد اعتمدت في استخراج الخصائص المورفومترية للأحواض على الطرق التقليدية.

وعلى الرغم من استخدام هذا النموذج منذ عهد مبكر في أمريكا وبعض مناطق العالم الأخرى لتقدير تصريف الذروة للسيول the peak discharge، وزمن تباطؤ السيل lag time ورسم المخططات المائية (الهيدروجراف hydrograph) للتنبؤ بالسيول، إلا أن تطبيقه قد تأخر كثيراً في المنطقة العربية ومنها المملكة العربية السعودية، نظراً لاستخدامه الوحدات الإنكليزية والتي لا تتماشى مع الوحدات المترية المستخدمة في منطقتنا حتى تم تعديله على يد عدد من الباحثين مؤخراً وأهمهم راجونات (1991) Raghunath وراميرز (2000) Ramirez.

وتعد دراسة الصبياني Subyani والبيومي Bayumi 2001 حول الخصائص

الهيدرولوجية والطبيعية لحوض وادي يلملم في منطقة جنوب مدينة مكة المكرمة من أوائل تلك الدراسات التي تعرضت لنموذج سنايدر Snyder's Model بعد أن قسمت الحوض إلى ثلاث أحواض فرعية، وقدمت قيماً افتراضية للنموذج نظراً لغياب كل من البيانات الهيدرولوجية للحوض ومحطات قياس المطر. كما قدمت ثلاث مخططات مائية للأحواض الفرعية وآخر للحوض الرئيسي إلا أنها رسمت بطريقة SCS.

ولعل من أهم الدراسات وأكثرها شهرة وانتشاراً ما قام به بورويه من دراسات حول تقدير أحجام الجريان لعدد من الأودية في كل من الجزائر والمملكة العربية السعودية ومن أهم هذه الدراسات.

دراسة بورويه (2007) حول تقدير حجم سيول وادي عتود في جنوب غرب المملكة، بعدما تعرض الوادي لسيلين كبيرين بتاريخ 1982/1/14 و 1983/1/15. وقد استخدم في بحثه نموذج سنايدر لحساب تدفق الذروة الأقصى والأوسط والأدنى، وحساب عدد من الخصائص الهيدرولوجية الأخرى، مع تحديد التباينات الزمنية والمكانية لخصائص سيول الروافد الرئيسية للحوض. ونظراً لعدم تحديد القيمة المناسبة لمعاملات تدفق الذروة (Peak flow factor) (ct) وزمن تدفق الذروة (Time of peak flow) (cp) فقد اتصفت الدراسة بالاحتمالية النظرية التي لا تستطيع تحديد قيم محددة يمكن فيها تقدير مخاطر السيول والتنبؤ بها.

دراسة الجعيدي وبورويه (2007) حول تقدير تدفق الذروة للسيول بحوض وادي العين بمحافظة الخرج باستخدام نموذج سنايدر اعتماداً على المتغيرات المورفومترية المستخلصة من صور القمر الصناعي سبوت Spot-5 (5 متر) وتحليلها باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، وقدمت الدراسة القيم القصوى والوسطى والدنيا لتدفق الذروة وأحجام الجريان، وهذه الدراسة كسابقتها لم تحدد القيم المناسبة لمعاملتي الـ ct والـ cp التي يمكن على أساسها تحديد القيم الأقرب إلى الواقع للتنبؤ بخصائص السيول.

دراسة الجعيدي (2008) عن الخصائص الهيدرومورفومترية وخصائص السيول

في أحواض السدود المقترحة على أودية العين وماوان في محافظة الخرج. وقد خلصت الدراسة إلى نتائج تقدير تدفق الذروة القصوى والوسطى والدنيا للوادين المذكورين بالإضافة إلى حساب القيم ذاتها لبقية عناصر نموذج سنايدر، وعلى الرغم من أوجه الشبه المنهجية مع الدراسة السابقة إلا أنها أضافت مجموعة من التوصيات الهامة حول الخصائص الهيدرولوجية لهذين الوادين نظراً لارتباطها بإقامة سدود مقترحة عليهما.

دراسة فريد Fred ومصطفى Mostafa (2008) حول نمذجة مخاطر الفيضان للمواقع المقدسة في مكة المكرمة (وادي عرنة) وقد اعتمدت الدراسة على نموذج ارتفاعات رقمي مبني على ترقيم للخرائط الكنتورية، وقد وتوصلت الدراسة التي تمت باستخدام نظم المعلومات الجغرافية في تحليل أكبر عاصفة مطرية بشدة 30 ملم/ساعة، وموزعة على كامل الحوض، ولفترة ساعة زمنية واحدة، إلى أن تصريف الذروة يصل إلى نقطة القياس عند بداية عرفات بعد 12 ساعة من بداية العاصفة وبحجم جريان يصل أقصاه 500 م³/ث.

وقد أغفلت الدراسة الفاقد أثناء الجريان المعتمد على كل من مساحة القطاع العرضي للمجرى والخواص الطبيعية للرواسب الفتاتية ومن ثم معدل التسرب. وقد أوصت الدراسة باعتماد نموذج ارتفاعات رقمي دقيق، وأخذ الفاقد أثناء الجريان بعين الاعتبار في أي دراسة مستقبلية، وهو ما سيؤدي بطبيعة الحال إلى التقليل من القيم التي تم الوصول إليها أعلاه.

أما دراسة علاجي (2010) حول تطبيق نظم المعلومات الجغرافية في بناء قاعدة بيانات للخصائص المورفومترية ومدلولاتها الهيدرولوجية في حوض وادي يلملم. وقد أظهرت الدراسة مدى الارتباط بين الخصائص المورفومترية وبعض المتغيرات الهيدرولوجية كما توصلت الدراسة إلى أن الشكل الكمثري للحوض والاستطالة التي يتميز بها تقلل من احتمال حدوث الفيضان في أدنى الحوض كما أوصت الدراسة بالتحول إلى اعتماد الخصائص المورفومترية للوصول إلى المدلولات الهيدرولوجية في ظل غياب محطات القياس الهيدرومترية وضرورة تنظيم التدفق في

الأحواض التي ترتفع فيها احتمالات حدوث الفيضان.

بينما أشارت دراسة مدخلي (2010) حول مخاطر السيول بحوض وادي بيش بمنطقة جازان والتي اعتمدت فيها على نظام الارتفاعات الرقمي ونظم المعلومات الجغرافية إلى أن السيول الخطرة جداً يمكنها أن تتكرر مره واحدة كل عشرين عاماً كما تتعدد المخاطر السيلية في حوض وادي بيش لتشمل بعض الآثار السلبية المباشرة أو غير المباشرة والخسائر المادية والاقتصادية والتنمية. كما أوصت الدراسة بإنشاء محطات لقياس الجريان السطحي على طول حوض وادي بيش، وجعل مخططات المساكن العمرانية بعيدة عن مناطق الخطر السيلي.

أما دراسة النفيعي (2010) حول تقدير الجريان السطحي ومخاطره السيلية في الحوض الأعلى لوادي عرنة باستخدام تقنيتي الاستشعار ونظم المعلومات الجغرافية فقد أشارت إلى إن خصائص الحوض الطبيعية والبشرية قد أسهمت في رفع قيم الاصمات في الحوض وذلك بعد استخدام نموذج الأرقام المنحنية للجريان. كما أشارت إلى أنه من خلال تطبيق نموذج مخطط قمة التصريف أمكن تحديد الأماكن الأكثر عرضة لمخاطر السيول، حيث بلغت قمة التصريف 4096 م³/ث وأوصت الدراسة بضرورة إنشاء محطات مطرية في الحوض لبناء قاعدة بيانات تفصيلية تساهم في تطوير الدراسات المناخية والهيدرولوجية، كما أوصت الدراسة بالحد من التوسع العمراني في بعض أودية الحوض وإنشاء قنوات لتصريف مياه السيول في الأحياء السكنية التي نشأت في الحوض.

ويبدو بعد الاستعراض الموجز للدراسات السابقة التي استعانت بنموذج سنايدر

Snyder's Model أن هناك عدة مآخذ عليها ويمكن تلخيصها في النقاط التالية:

- عدم اعتمادها قيم محددة لكل من معاملي الـ ct والـ cp من أحواض مجاورة ومشابهة للأحواض المدروسة وهو ما أدى إلى قيم نظرية بحتة.

- استخدامها للحد الأدنى لزمان الأساس للسيل Tb وهو 3 أيام دون تعديل ليلائم الأحواض الصغيرة.
- لم يظهر في تلك الدراسات حساب زمن الوصول للذروة Tp وهو الأمر الذي سيؤدي إلى عدم تحديد دقيق لزمان الأساس للسيل وأيضاً إلى عدم دقة تحديد النقطة الحمراء التي تمثل زمن الوصول لذروة التصريف وهو ما يجعل حدوث الفيضان أسرع من الواقع.

ثالثاً : طريقة العمل.

شملت طريقة العمل كل من جمع بيانات البحث وطريقة معالجتها، ويمكن إيجاز ذلك على النحو التالي :

(أ) جمع بيانات البحث :

وقد اشتملت على خرائط طبوغرافية مقياس 1:50000 ومقياس 1:250000 لمربع مكة المكرمة، وخريطة مكة الجيولوجية مقياس 1:250000، وبيانات الأمطار السنوية واليومية، ونموذج الارتفاعات الرقمية ASTER DEM. ويعد هذا النموذج من أهم البيانات التي تم الاعتماد عليها في هذا البحث. وتتعدد التطبيقات التي يخدمها نموذج ASTER لتشمل عدد من المجالات منها علي سبيل المثال: استخراج أحواض المجاري المائية، والفوالق الطبيعية، واستنباط خرائط لتأثير الكوارث الطبيعية مثل الفيضانات والبراكين، وإدارة الموارد المائية، ودراسات استكشاف الموارد الطبيعية مثل النفط، وتطوير الخرائط الهندسية لتمثيل تضاريس سطح الأرض، والدراسات الجيولوجية والبيئية.

بدأ تجميع بيانات نموذج ASTER منذ عام 2000م وحتى الآن، وفي 29 يونيو من عام 2009م تم إطلاق النسخة الأولى من نموذج الارتفاعات الرقمية العالمي ASTER، وبقدرة تمييز مكانية Resolution تبلغ 1 ثانية أو 30 متر تقريبا. هذه القدرة التمييزية العالية تجعل نموذج ASTER أفضل من أي نموذج آخر من نماذج

الارتفاعات الرقمية العالمية المتاحة والتي لا تقل قدرتها التمييزية عن 3 ثانية أو 90 متر تقريبا (ASTER, 2010).

ب) معالجة بيانات البحث :

تم إتباع الخطوات التالية في المعالجة :

1. تم تجهيز نموذج الارتفاعات الرقمية ASTER لمنطقة الدراسة من خلال الموقع السابق عن طريق تحديد إحداثيات المنطقة أو باستخدام Shape File مجزئ مسبقاً بحيث يكون نظام إحداثياته معرف.
2. تم نقل صورة الـ DEM الى برنامج Global Mapper لاقتطاع منطقة الدراسة منها حسب خطوط الطول والعرض أو لدمج ملفين DEM من الموقع السابق والاقطاع منهم معاً حيث يعطي الموقع السابق ملف واحد لكل منطقة أبعادها درجة * درجة وتصديره بصيغة Arc ASCII Grid لاستخدامه في برنامج Arc GIS.
3. تم استخدام هذا النموذج الصادر الى برنامج Arc GIS والبدء بتطبيق خطوات اشتقاق المجرى.
4. تحديد نظام الإحداثيات في بيئة العمل في Arc GIS.
5. البدء بخطوات التحليل المكاني باستخدام أدوات Hydrology من Spatial Analyst Tools. وفي البداية يتم التأكد من أن الـ DEM لا يحتوي نتوءات أو منخفضات pits / depression غير حقيقية من الممكن أن تؤثر علي جودة تمثيل المجاري المائية، حيث أنه أثناء معالجة خرائط الارتفاعات الرقمية فإن هذه البرامج تفترض أن كل خلية (Pixel) تؤدي إلى خلية مجاورة لها حتى يتم الوصول إلى مخرج الحوض المائي Outlet والذي يجمع جميع الخلايا ولكن وجود هذه المنخفضات أو الحفر أو النتوءات والشذوذات سوف يؤدي إلى انقطاع المجرى المائي وعدم اتصاله مع ما هو أسفل منه. و يتم ذلك باستخدام الأمر Fill من قائمة Hydrology في صندوق الأدوات. هذا الأمر يحسن من تمثيل ملف الارتفاعات

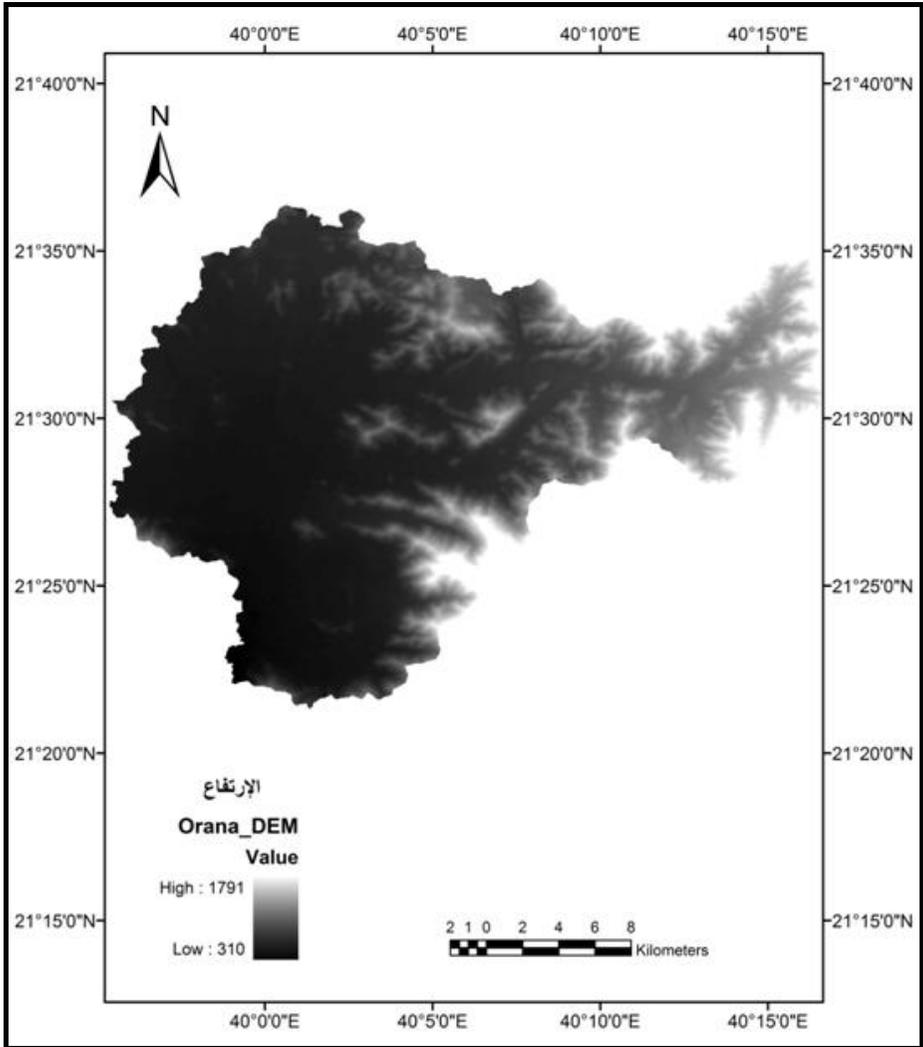
الرقمية للمجرى المائي فيقوم بزيادة قيمة الخلايا الموجودة في الحفر والمنخفضات أو ينقصها في النتوءات والشذوذات بطريقة علمية تطبيقية تعطي نتائج دقيقة، وفي حالة استخدام هذا الأمر فإن Arc GIS سوف يقوم بإنشاء ملف ارتفاعات جديد معدل خالي من الشذوذات (شكل 10).

6. تم استخدام أمر حساب اتجاه الجريان Flow Direction من قائمة Hydrology والذي يقوم بحساب اتجاه الجريان في كل خلية من خلايا نموذج الارتفاعات الرقمية لخلق اتجاه جريان من الراستر من كل خلية إلى أعماق انحدار مجاور لها، وذلك حسب طريقة D8 حيث يحيط بكل خلية ثمان خلايا تأخذ ثماني قيم توازي الاتجاهات الأساسية والثانوية (شكل 11).

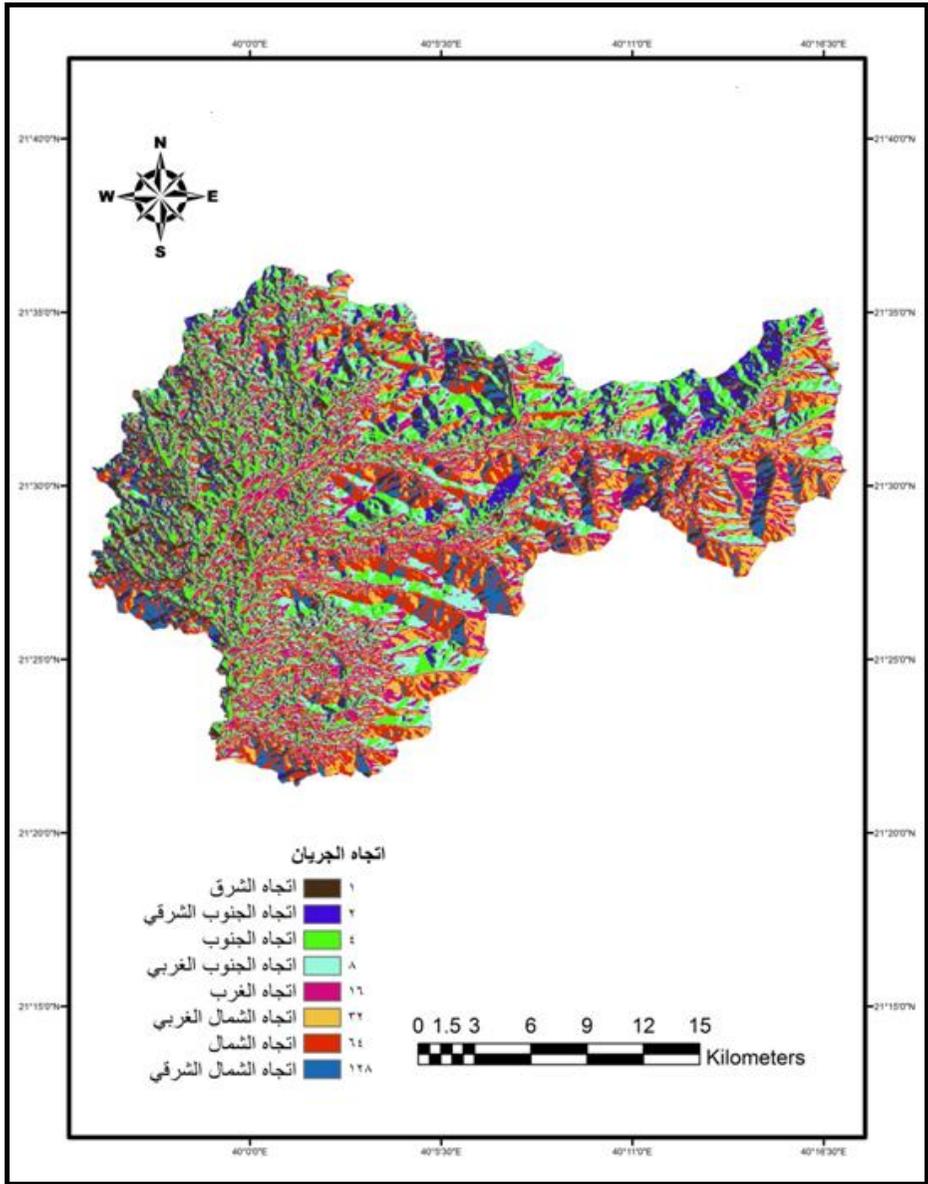
7. تم استخدام أمر حساب الجريان التراكمي Flow Accumulation أو تجميعات الجريان من قائمة Hydrology، في هذه الخطوة يكون الملف المدخل هو ملف اتجاه الجريان والذي تم إنشاؤه في الخطوة السابقة. وفي هذا الأمر يقوم البرنامج بإنشاء ملف شبكي بالاعتماد على اتجاه الجريان المحسوب لكل خلية من الخطوة السابقة، وكل خلية في هذا الملف تحتوي على قيمة معينة، وتمثل هذه القيم عدد الخلايا التي تعلو هذه الخلية وتصب (تتجمع) فيها، ونتيجة لهذه الخطوة يكون الناتج صورة عامة للمجري المائية في منطقة الدراسة (شكل 12).

8. تم استخدام الأمر Times من قائمة Math من Spatial Analyst Tools لتحويل الملف الناتج من الخطوة السابقة إلى ملف تعبر قيمه عن مساحة التصريف لكل من خلايا الـ DEM وذلك عن طريق ضرب قيمة كل خلية ناتجة من الخطوة السابقة في أبعاد هذه الخلية وهي في ASTER $30 * 30$.

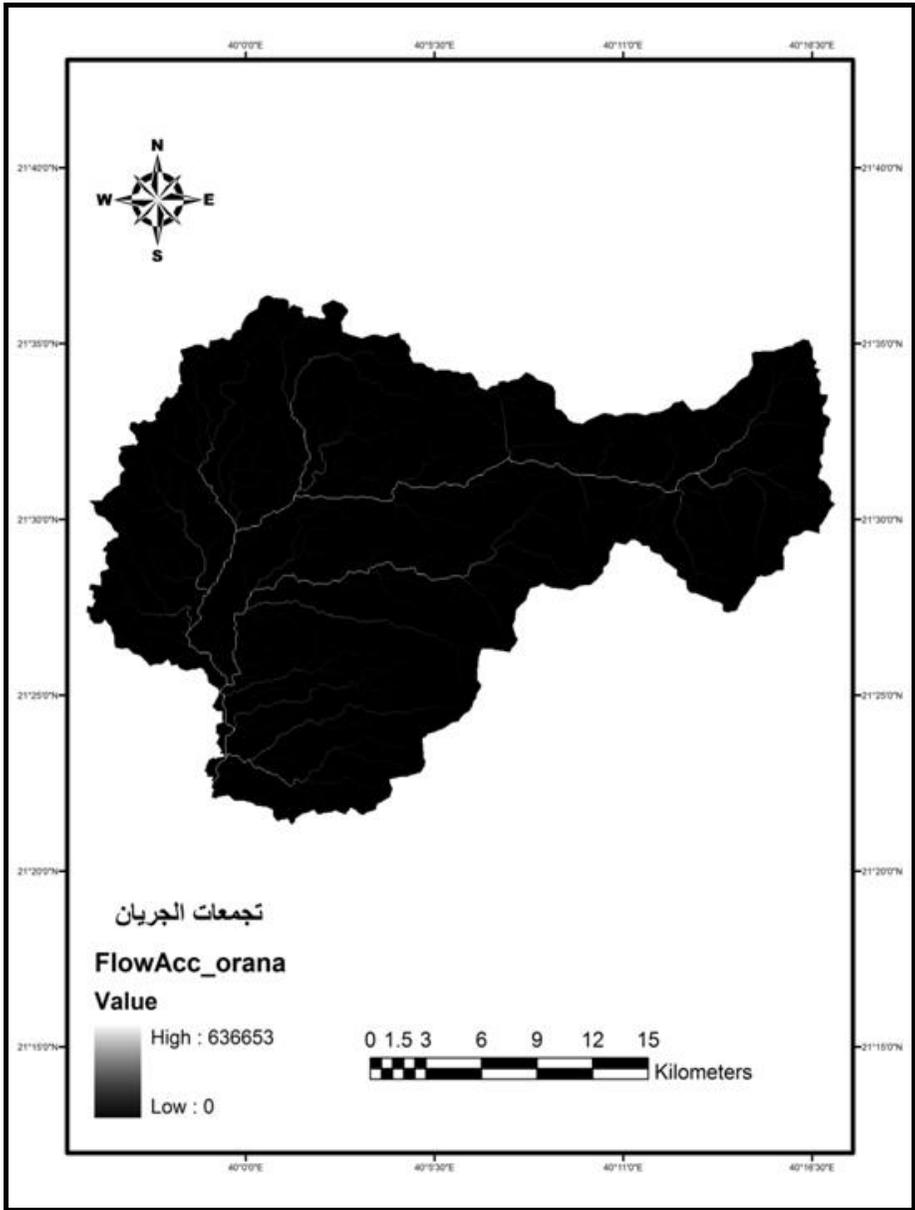
9. تم استخدام الأمر Log10 من قائمة Math لتحويل مساحة التصريف من الخطوة السابقة إلى $\text{Log}_{10} \text{ m}^2$ (شكل 13).



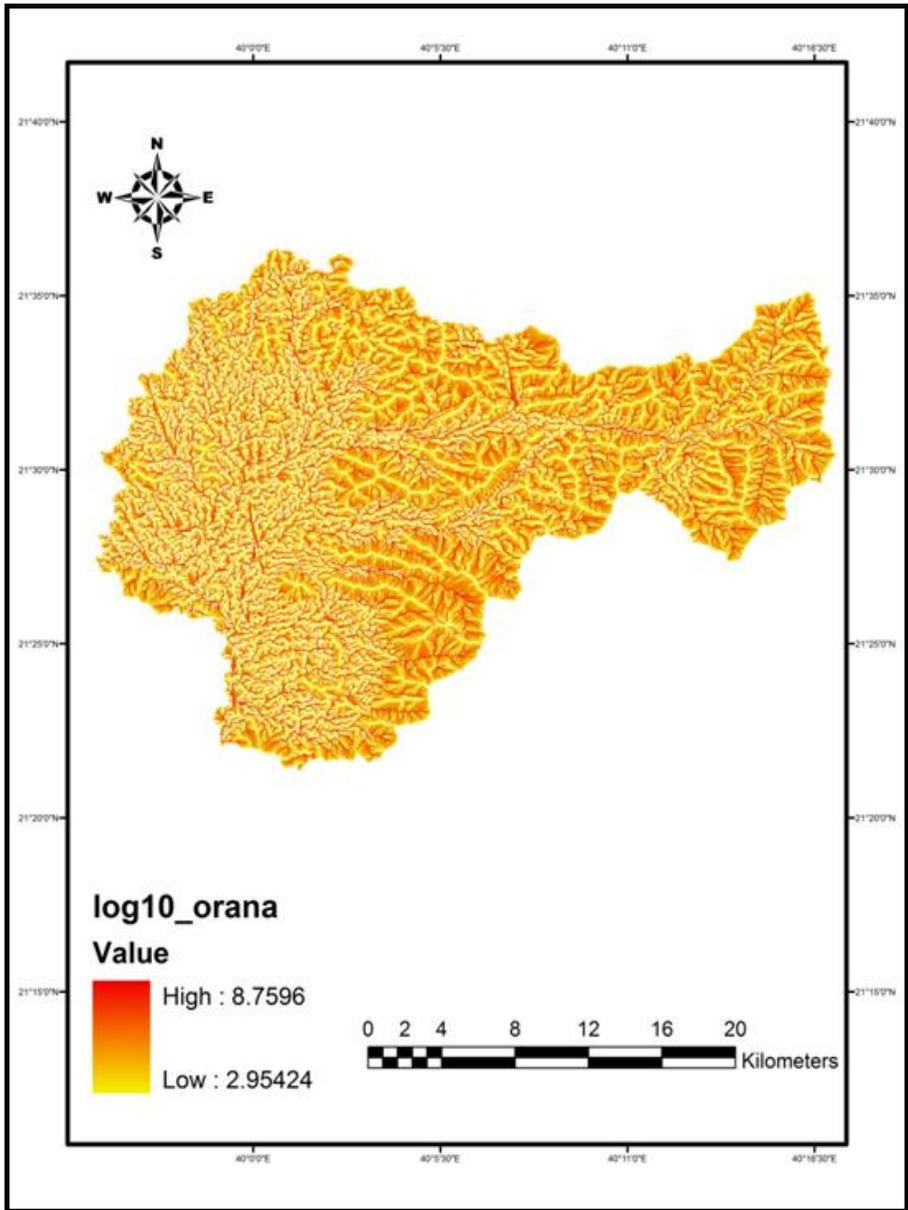
شكل (10) : خريطة نظام الارتفاعات الرقمي لحوض وادي عرنة.



شكل (11) : خريطة اتجاهات الجريان في حوض وادي عرنة.



شكل (12) : خريطة تجمعات الجريان في حوض وادي عرنة.



شكل (13) : مساحات تصريف حوض وادي عرنة حسب خطوة \log_{10} .
 10. تم استخدام الأمر Con من Conditional من Spatial Analyst Tools لتحديد قيمة التحسس التي ينتج عنها مجاري تصريف. حيث أنه كلما قلت قيمة معامل

التحسس زادت تفاصيل المجاري المائية التي يمكن استنباطها للمنطقة والعكس بالعكس، ويتم ذلك باستخدام الملف من الخطوة السابقة، وينتج لدينا شبكة تصريف الحوض على شكل راستر (شكل 14).

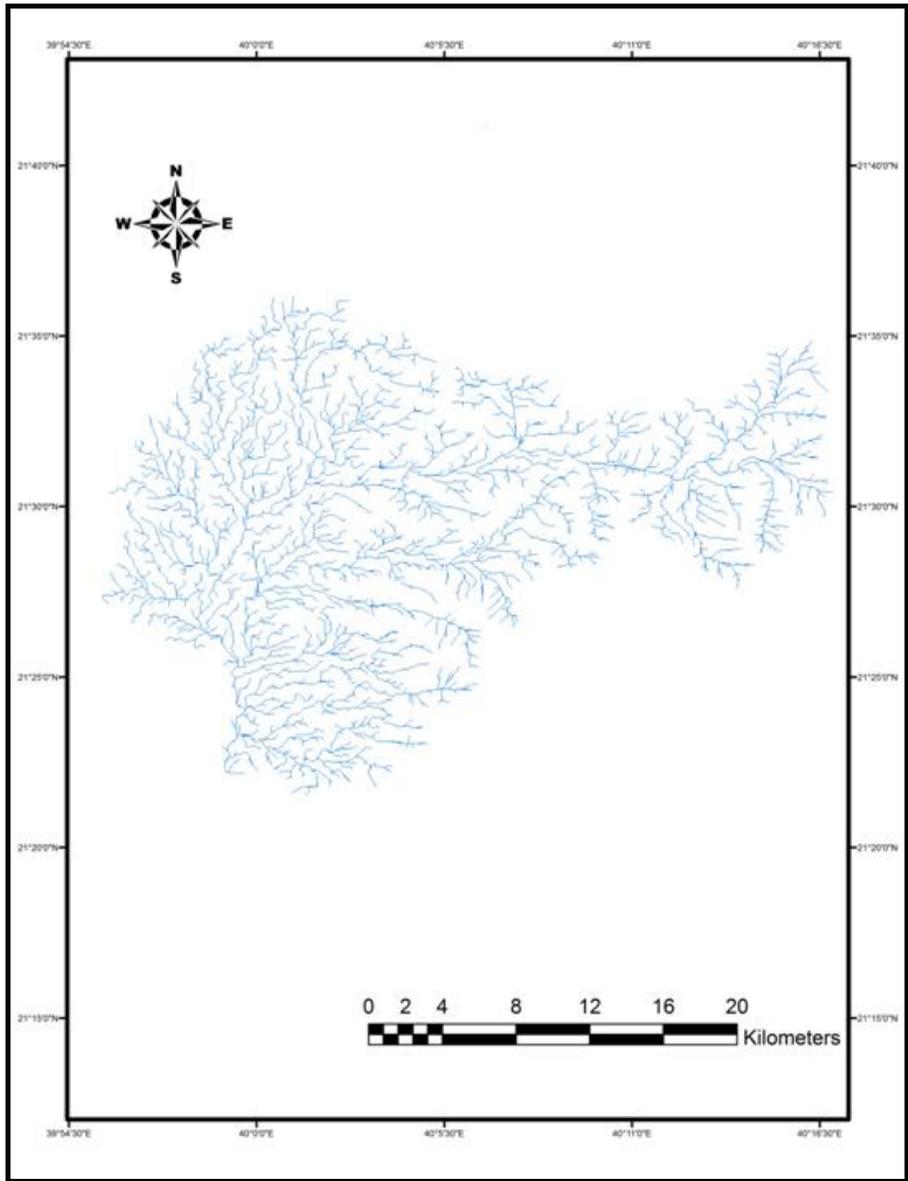
11. تم ترتيب واستخراج المجاري المائية بصورة أكثر تفصيلاً بالاعتماد على الصورة العامة الناتجة من الخطوة السابقة. وذلك باستخدام أمر رُتب المجاري المائية Stream Orders من Hydrology، في هذه الخطوة تم الاعتماد على نموذج Strahler في طريقة تصنيف رتب مجاري الأودية.

12. تم تحويل رتب المجاري المائية من الصيغة الخلية أو الشبكية Raster والتي نتجت من الخطوة السابقة إلى الصيغة الخطية Vector لسهولة التعامل معها سواء في التمثيل الخرائطي أو إجراء التعديلات أو للقيام بمزيد من الحسابات عليها، وذلك من خلال الأمر Stream to Feature من Hydrology (شكل 5).

13. تم تحديد نقطة Outlet للحوض المائي عن طريق إنشاء Shape File في برنامج Arc Catalog من نوع Point وتحديد نظام الإحداثيات المتبع. وتحديد مكان النقطة بواسطة Sketch tool على المجرى المائي. وتعمل هذه النقطة على تحديد حدود الحوض المائي المغذي للمجرى عندها، وهذه النقطة غالباً ما تكون في الدراسات الهيدرولوجية عبارة عن موقع سد، أو طريق سريع أو أي نشاط بشري أو نهاية مجرى وادي معين.

14. تم استخراج حدود الحوض المغذي لهذه النقطة وهي عبارة عن منطقة محددة من المنطقة الكلية التي يغطيها نموذج الارتفاعات الرقمية، من خلال الأمر Watershed من Hydrology.

15. تم تحويل الحوض المستخرج من صيغة Raster إلى مضلع Polygon (في الصيغة الخطية) لسهولة التعامل معه لاحقاً، من خلال الأمر Raster to Polygon من قائمة أدوات Conversion Tools من From Raster، وهكذا تكون منطقة حوضي الدراسة قد حددت.



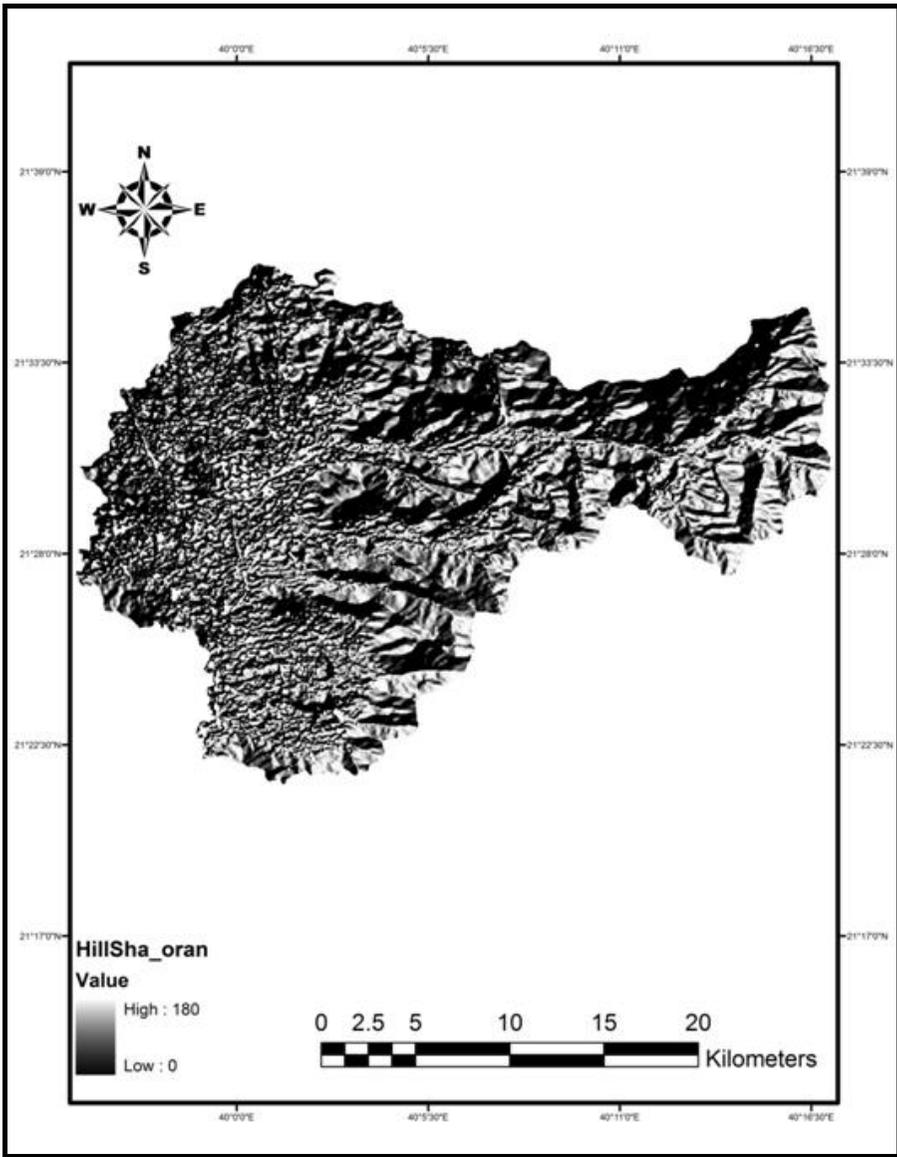
شكل (14) : شبكة تصريف حوض وادي عرنة حسب خطوة con .
 16. ولاقتطاع المجاري المائية التي تقع فقط بداخل الحوض المستخرج من الخطوة السابقة تم استخدام الأمر Clip والمدخلات في هذه الخطوة هي الحوض بصيغة

polygon من الخطوة السابقة مع رتب المجاري بالصيغة الخطية والتي نتجت من الخطوة (12).

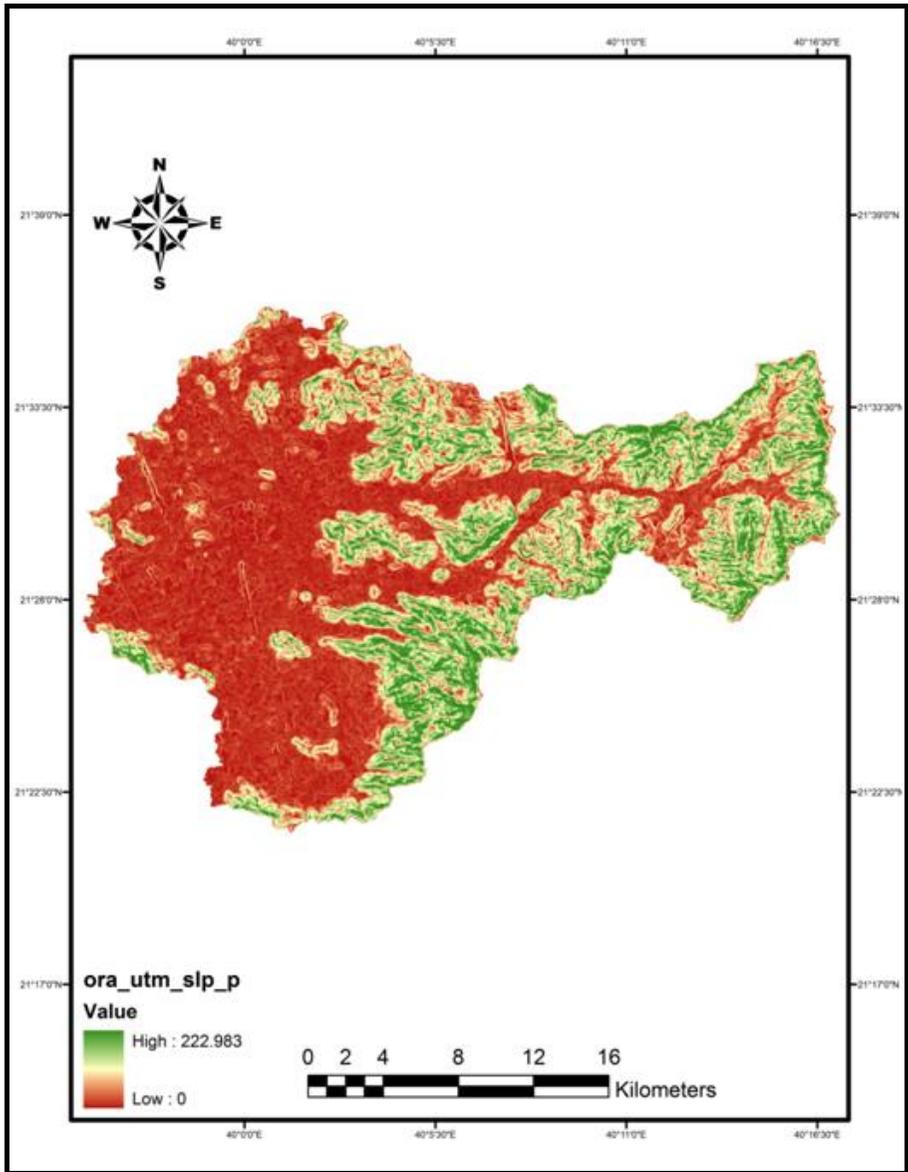
17. بعد أن أصبحت لدينا هذه الملفات من حدود أحواض ورتب مجاري نهرية أمكن بعد ذلك تطبيق أي طريقة من طرق القياس المتعددة في برنامج Arc GIS لحساب طول المجرى الرئيسي، تحديد مركز ثقل الأحواض، تحديد الرتب النهريّة، حساب مساحة الأحواض، انحدار المجاري، وانحدار الأحواض ... الخ، إضافة إلى العديد من الخرائط ومنها خرائط مظلمة Shaded Relief (شكل 15)، وخرائط انحدار Slope Map (شكل 16)، وخرائط اتجاه المنحدرات Aspect (شكل 17)، وذلك من خلال البيانات المتوفرة في الملفات التي ذكرت في الخطوات السابقة.

رابعاً : تقدير تصريف السيول في حوض وادي عرنة.

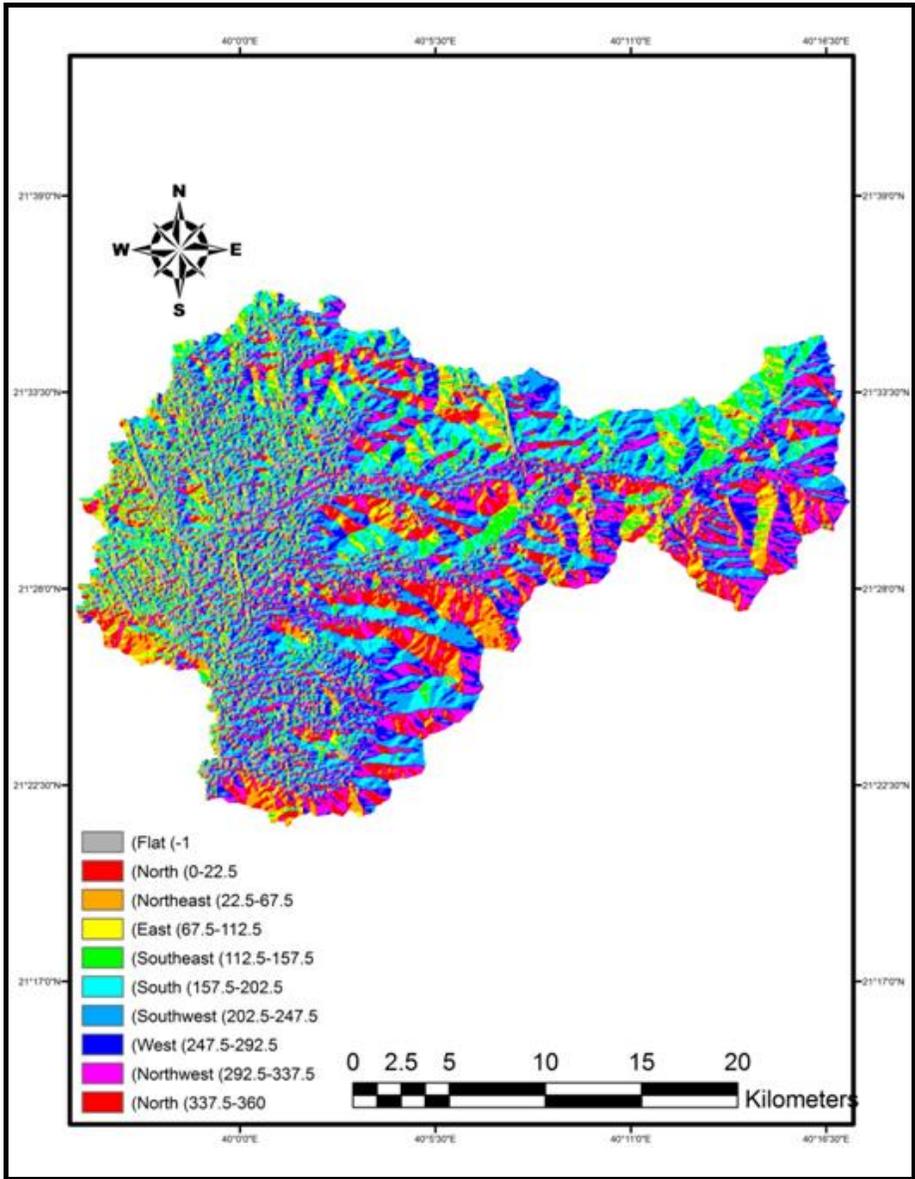
تبين من خلال عرض طريقة أو نموذج سنايدر Snyder's Model أنها الطريقة المناسبة لتقدير تدفق السيول في منطقة البحث نظراً لكونها تعتمد على بيانات الأحواض، وهي البيانات المتوفرة عادة للمناطق الجافة وغيرها من المناطق التي تقتصر إلى بيانات مسجلة عن الجريان أو العواصف المطرية. ولتطبيق نموذج سنايدر لا بد من المرور بخمسة مراحل أساسية لاشتقاق وحدة الهيدروجراف وتتلخص بحساب زمن التباطؤ أو زمن الاستجابة للحوض المائي TL أو tp، وتصريف الذروة Qp، وزمن الأساس للسيل (القاعدة الزمنية) Tb، والفترة المثالية (القياسية) لهطول الأمطار Td أو tr، وحساب الفترة الزمنية W₅₀ و W₇₅ المناسبة لعرض الهيدروجراف عند مستوى 50% و 75% من تدفق أو تصريف الذروة.



شكل (15) : خريطة مظلة لحوض وادي عرنة.



شكل (16) : خريطة انحدار حوض وادي عرنة Slope.



شكل (17) : خريطة اتجاه المنحدرات لحوض وادي عرنة Aspect.

وقد اتبع الباحث في هذا البحث النموذج المعدل من قبل راجونات (Raghunath, 1991) نظراً لسهولة واعتماده الوحدات المترية، واعتباره الأكثر تطبيقاً في المملكة

العربية السعودية (Raghunath, 2006, pp. 149.54)، كما سيتم الاستعانة أيضاً بالآراء الأخرى ذات العلاقة في بعض الحالات (الجعدي و بوريه، 1428) وخاصة فيما يتعلق بعدد من الخصائص الهيدرولوجية المتعلقة بحساب حجم السيول ومعامل قوتها وعمق الجريان.

وكان راجونات Raghunath قد أعطى قيمة مناسبة لعاملي الـ ct والـ cp تراوحت بين 0.2 و 2.2 للأول و 2 و 6.5 للثاني. وفيما يلي عرض لتطبيق هذا النموذج مع الأخذ بعين الاعتبار بعض متغيرات أحواض منطقة البحث :

1- حساب زمن إستجابة الاحواض المائية لهطول الأمطار (مقاس بالساعات) للوصول الى ذروة التصريف (التدفق) tp أو TL عند سنايدر، ويعرف أيضا بزمن التباطؤ Lag Time (hr) لأنه يمثل الفترة الزمنية الفاصلة بين ذروة هطول الأمطار وذروة التدفق ويطلق عليه زمن الاستجابة الأولي ، ويستخرج ذلك من خلال تطبيق المعادلة التالية:

المعادلة (19)

$$t_p \text{ (hr)} = Ct (L_b L_{ca})^{0.3} \quad \text{(Raghunath, 2006)}$$

حيث أن:

L b : طول المجرى الرئيس (كلم).

Lca : المسافة الفاصلة بين مصب الحوض المائي ومركز ثقله (كلم).

tp (hr) : فترة استجابة الحوض المائي لهطول الأمطار (ساعات).

Ct : معامل زمن تدفق الذروة Peak Flow Time Factor أو معامل التباطؤ وهو خاص بطبيعة الحوض وانحداره وتتراوح قيمته بين 0.2 و 2.2.

جدول (4) : فترة الاستجابة في حوض وادي عرنة والفترة القياسية للأمطار (ساعة).

عرنة		
Ct	tp	Tr
٠,٢	١,٦٩٣٥٣٣	٠,٣٠٧٩١٥
٠,٤	٣,٣٨٧٠٦٥	٠,٦١٥٨٣
٠,٦	٥,٠٨٠٥٩٨	٠,٩٢٣٧٤٥
٠,٨	٦,٧٧٤١٣	١,٢٣١٦٦
١	٨,٤٦٧٦٦٣	١,٥٣٩٥٧٥
١,٢	١٠,١٦١٢	١,٨٤٧٤٩
١,٤	١١,٨٥٤٧٣	٢,١٥٥٤٠٥
١,٦	١٣,٥٤٨٢٦	٢,٤٦٣٣٢
١,٨	١٥,٢٤١٧٩	٢,٧٧١٢٣٥
٢	١٦,٩٣٥٣٣	٣,٠٧٩١٥
٢,٢	١٨,٦٢٨٨٦	٣,٣٨٧٠٦٥
Min	١,٦٩	٠,٣١
Max	١٨,٦٣	٣,٣٩
Mean	١٠,١٦	١,٨٥

ويمثل الجدول (4) فترة استجابة حوض وادي عرنة لهطول الأمطار وقد تراوحت بين 18.63 و 1.7 ساعة. ويتضح من خلال الجدول أيضا أنه كلما زادت قيمة الـ Ct زاد زمن استجابة الحوض للوصول الى ذروة التدفق، لأن هذه الزيادة تعني قلة الانحدار وزيادة الأزمنة الأخرى، بينما قلتها تعني زيادة الانحدار وبالتالي تناقص القيم الزمنية الأخرى.

2- حساب الفترة الزمنية duration القياسية standard لتمثيل ذروة هطول الأمطار

(ساعات) tr (أو Td عند سنايدر) وذلك بتطبيق المعادلة التالية:
المعادلة (20)

$$t_r (\text{hr}) = \frac{t_p (\text{hr})}{5.5} \quad (\text{Raghunath, 2006})$$

حيث أن:

tp (hr) : زمن استجابة الحوض المائي لهطول الأمطار (ساعات) المحسوبة من المعادلة (19).
 tr (hr) : الفترة الزمنية القياسية لتمثيل ذروة هطول الأمطار (ساعات)، وتعرف بالفترة الأولية.

وتستخدم هذه المعادلة عندما تكون فترة هطول الأمطار tr(hr) لا تتجاوز زمن استجابة الحوض المائي tp. ولقد تم تطبيق هذه المعادلة لحساب قيمة الفترة الزمنية المثالية لتمثيل ذروة هطول الأمطار (ساعات) tr (hr) نظرا لطبيعة الأمطار التي تتساقط في منطقة البحث على شكل عواصف مطرية كثيفة وقصيرة وقد لا تتعدى ساعة أو بضع ساعات.

ويمثل الجدول (4) حساب الفترة الزمنية duration القياسية standard لتمثيل ذروة هطول الأمطار (ساعات) tr(hr) في حوض وادي عرنة والتي تراوحت بين 3.39 و 0.31 ساعة. ويتضح من خلال الجدول أيضا أنه كلما زادت قيمة tr(hr) زاد زمن استجابة الحوض، وكلما زاد الأخير زادت قيمة ال Ct ومن ثم مع زيادة الفترة tr(hr) تزداد قيمة ال Ct أو ما يسمى معامل التباطؤ.

3- حساب كمية التدفق الأقصى للسيول بنموذج سنايدر Snyder بتطبيق المعادلة الآتية :

المعادلة (21)

$$Q_p (\text{m}^3/\text{s}) = \frac{C_p A}{t_p (\text{hr})} \quad (\text{Raghunath, 2006})$$

بحيث تمثل:

Qp : كمية التدفق الأقصى للسيول بالحوض المائي (م³/ثانية).

A : مساحة الحوض المائي (كلم²).

Cp : معامل تدفق الذروة Peak Flow Factor ويرتبط بقابلية الحوض المائي لتخزين المياه وله علاقة بالنفاذية وتتراوح قيمته بين 2.0 و 6.5.

Tp : فترة استجابة الحوض المائي لهطول الأمطار (ساعات) (hr)

ويتناسب هذا النموذج مع العواصف المطرية التي بإمكانها أن تتسبب في حدوث جريان سطحي بعمق (سمك) لا يقل عن 25-26 ملم (ما يعادل 1 بوصة).

جدول (5) : كمية التدفق الأقصى للسيول في حوض وادي عرنه (م³).

Ct	Cp						
	٢	٣	٤	٥	٦	٦,٥	
Min	٠,٢	٦٦٧,٦	١٠٠١	١٣٣٥,٢	١٦٦٩	٢٠٠٣	٢١٧٠
٦١	٠,٤	٣٣٣,٨	٥٠٠,٧	٦٦٧,٦	٨٣٤,٥	١٠٠١	١٠٨٥
Max	٠,٦	٢٢٢,٥٣	٣٣٣,٨	٤٤٥,٠٧	٥٥٦,٣	٦٦٧,٦	٧٢٣
٢١٧٠	٠,٨	١٦٦,٩	٢٥٠,٣	٣٣٣,٨	٤١٧,٢	٥٠٠,٧	٥٤٢
Mean	١	١٣٣,٥٢	٢٠٠,٣	٢٦٧,٠٤	٣٣٣,٨	٤٠٠,٦	٤٣٤
٤٠٥	١,٢	١١١,٢٧	١٦٦,٩	٢٢٢,٥٣	٢٧٨,٢	٣٣٣,٨	٣٦٢
	١,٤	٩٥,٣٧١	١٤٣,١	١٩٠,٧٤	٢٣٨,٤	٢٨٦,١	٣١٠
	١,٦	٨٣,٤٥	١٢٥,٢	١٦٦,٩	٢٠٨,٦	٢٥٠,٣	٢٧١
	١,٨	٧٤,١٧٨	١١١,٣	١٤٨,٣٦	١٨٥,٤	٢٢٢,٥	٢٤١
	٢	٦٦,٧٦	١٠٠,١	١٣٣,٥٢	١٦٦,٩	٢٠٠,٣	٢١٧
	٢,٢	٦٠,٦٩١	٩١,٠٤	١٢١,٣٨	١٥١,٧	١٨٢,١	١٩٧

ويمثل الجدول (5) كمية التدفق الأقصى للسيول بحوض وادي عرنه عند الجسر رقم (8) وذلك حسب القيم المناسبة لكل من عملي ال ct وال Cp، ويتضح من خلاله أن أقصى وأدنى تصريف لحوض وادي عرنه يصل إلى 2170 م³/ث و 61 م³/ث على التوالي. وهو تفاوت يصل إلى أكثر من 35 مرة بين القيمتين، الأمر

الذي يجعل من عملية تحديد القيم الحقيقية لمعاملي الـ Ct والـ Cp أمراً حتمياً وذلك للوصول إلى تقدير أقرب إلى واقع الحال في الحوضين بناء على خصائصهما الطبيعية، بينما نجد أن الواقع النظري يفيد بزيادة التصريف كلما زادت قيمة الـ Cp وقلت قيمة الـ Ct وسيتم مناقشة هذا الموضوع بعد استكمال عرض النموذج.

4- حساب زمن الأساس للسيل (القاعدة الزمنية للهيدروجراف أو زمن السيل) (يوم) Time base (days) في نموذج سنايدر بتطبيق المعادلة التالية:

المعادلة (22)

$$T_b \text{ (days)} = 3 + \frac{t_p \text{ (hr)}}{8} \quad (\text{Raghunath, 2006})$$

حيث أن :

Tb(days) : زمن الأساس للسيل (يوم). وقد حددها سنايدر بثلاثة أيام للأحواض الكبيرة، وبالإمكان معايرة ذلك للأحواض الصغيرة على أساس أن القاعدة الزمنية (زمن الأساس) تساوي 3-5 أضعاف زمن الذروة، وتتحول من أيام إلى ساعات. أو مقارنتها بنتائج لأحواض معروفة.
tp(hr) : فترة استجابة الحوض المائي لهطول الأمطار (ساعات) المحسوبة من المعادلة (19).

ويتضح من الجدول (6) أنه كلما زادت قيمة الـ tp (زمن الاستجابة) زادت قيمة زمن الأساس للسيل Tb ومن ثم فإنه كلما زادت قيمة الـ Ct (معامل التباطؤ) زادت قيمة زمن الأساس للسيل، وكما يبدو واضحاً من الجدول فإن أقصى وأدنى قيمة لزمن الأساس تتراوح بين 3-5 أيام وهو ما لا يتفق مع أحواض المنطقة، ومن ثم تم استبدال ذلك حسب سنايدر بالمعادلة التالية والتي تتناسب وسعة الأحواض الصغيرة.

المعادلة (23)

$$T_b \text{ hours} = T_p * 4$$

جدول (6) : زمن الأساس للسيل في منطقة البحث (يوم - ساعة).

عينة		
Ct	Tb day	Tb Hours
٠,٢	٣,٢١١٦٩٢	٦,٧٧٤١٣
٠,٤	٣,٤٢٣٣٨٣	١٣,٥٤٨٢٦
٠,٦	٣,٦٣٥٠٧٥	٢٠,٣٢٢٣٩
٠,٨	٣,٨٤٦٧٦٦	٢٧,٠٩٦٥٢
١	٤,٠٥٨٤٥٨	٣٣,٨٧٠٦٥
١,٢	٤,٢٧٠١٤٩	٤٠,٦٤٤٧٨
١,٤	٤,٤٨١٨٤١	٤٧,٤١٨٩١
١,٦	٤,٦٩٣٥٣٣	٥٤,١٩٣٠٤
١,٨	٤,٩٠٥٢٢٤	٦٠,٩٦٧١٧
٢	٥,١١٦٩١٦	٦٧,٧٤١٣
٢,٢	٥,٣٢٨٦٠٧	٧٤,٥١٥٤٣
Min	٣,٢١	٦,٧٧
Max	٥,٣٣	٧٤,٥٢
Mean	٤,٢٧	٤٠,٦٤

ويتضح من الجدول (6) أن أقصى وأدنى قيمة لزمن الأساس تراوحت بين 6- 74 ساعة على التوالي، وهو ما سيؤثر بالتالي على قيم فترة الارتفاع التدريجي للسيل.

5- حساب فترة الارتفاع التدريجي لتدفق السيل $T_m(\text{hr})$ بتطبيق المعادلة التالية:

المعادلة (24)

$$T_m (\text{hr}) = \frac{1}{3} T_b (\text{day}) \quad (\text{Raghunath, 2006})$$

حيث أن:

$T_m(\text{hr})$: فترة الارتفاع التدريجي لتدفق السيل (ساعات) وهي الفترة الزمنية الممتدة من بداية جريان

السيل إلى فترة ذروته على الهيدروغراف.
 Tb(day) : زمن الأساس (القاعدة) (يوم) ويتم تقديره بواسطة المعادلة (22).

جدول (7) : فترة الارتفاع التدريجي لتدفق السيل (يوم- ساعة)

عروة	حالة ١	حالة ٢
Ct	Tm hr/day	Tm hour
٠,٢	٢٥,٦٩٣٥٣	٢,٢٥٨٠٤٣
٠,٤	٢٧,٣٨٧٠٧	٤,٥١٦٠٨٧
٠,٦	٢٩,٠٨٠٦	٦,٧٧٤١٣
٠,٨	٣٠,٧٧٤١٣	٩,٠٣٢١٧٤
١	٣٢,٤٦٧٦٦	١١,٢٩٠٢٢
١,٢	٣٤,١٦١٢	١٣,٥٤٨٢٦
١,٤	٣٥,٨٥٤٧٣	١٥,٨٠٦٣
١,٦	٣٧,٥٤٨٢٦	١٨,٠٦٤٣٥
١,٨	٣٩,٢٤١٧٩	٢٠,٣٢٢٣٩
٢	٤٠,٩٣٥٣٣	٢٢,٥٨٠٤٣
٢,٢	٤٢,٦٢٨٨٦	٢٤,٨٣٨٤٨

Min	٢٥,٦٩	٢,٢٦
Max	٤٢,٦٣	٢٤,٨٤
Mean	٣٤,١٦	١٣,٥٥

وبلاحظ من الجدول (7) أنه كلما زادت قيمة معامل التباطؤ Ct زادت فترة الارتفاع التدريجي للوصول إلى ذروة التدفق، وبما أن زمن الارتفاع التدريجي للسيل محسوب من القاعدة الزمنية (زمن الأساس) التي لا يقل حدها الأولي عن ثلاثة أيام فقد أثر ذلك على القيمة العظمى والدنيا لزمن الارتفاع التدريجي لتدفق السيل والتي تراوحت بين 42 و 25 ساعة (حالة 1) ومن ثم تم حساب الارتفاع التدريجي لتدفق السيل اعتماداً على زمن الأساس للسيل بالساعات حسب المعادلة التالية (حالة 2)، (جدول 7).

معادلة (25)

$$T_m \text{ hours} = T_b \text{ hr} / 3$$

وبلاحظ من الجدول (7) قصر فترة الارتفاع التدريجي لتدفق السيل لتتراوح ما بين 2 و 13 ساعة بدل من 25 و 42 ساعة.

6- حساب فترة الانخفاض التدريجي لتدفق السيل (ساعات) $T_d(\text{hr})$ بتطبيق المعادلة التالية:

المعادلة (26)

$$T_d (\text{hr}) = \frac{2}{3} T_b (\text{hr})$$

(Ragunath, 2006)

حيث أن :

$T_d (\text{hr})$: فترة الانخفاض التدريجي لتدفق السيل (ساعات) وهي الفترة الزمنية الممتدة من ذروة التدفق إلى نهايته على الهيدروغراف.

$T_b (\text{hr})$: زمن الأساس (القاعدة) (يوم) وقد تم تقديره بواسطة المعادلة (22).

جدول (8) : فترة الانخفاض التدريجي لتدفق السيل (يوم - ساعة)
وتركيز الأمطار المناسبة لتدفق الذروة.

عرنة	حالة ١	حالة ٢	
Ct	Td hr/day	Td hour	i
٠,٢	٥١,٣٨٧٠٧	٤,٥١٦٠٨٧	٣,٢٤٧٦٤٩
٠,٤	٥٤,٧٧٤١٣	٩,٠٣٢١٧٤	١,٦٢٣٨٢٥
٠,٦	٥٨,١٦١٢	١٣,٥٤٨٢٦	١,٠٨٢٥٥
٠,٨	٦١,٥٤٨٢٦	١٨,٠٦٤٣٥	٠,٨١١٩١٢
١	٦٤,٩٣٥٣٣	٢٢,٥٨٠٤٣	٠,٦٤٩٥٣
١,٢	٦٨,٣٢٢٣٩	٢٧,٠٩٦٥٢	٠,٥٤١٢٧٥
١,٤	٧١,٧٠٩٤٦	٣١,٦١٢٦١	٠,٤٦٣٩٥
١,٦	٧٥,٠٩٦٥٢	٣٦,١٢٨٧	٠,٤٠٥٩٥٦
١,٨	٧٨,٤٨٣٥٩	٤٠,٦٤٤٧٨	٠,٣٦٠٨٥
٢	٨١,٨٧٠٦٥	٤٥,١٦٠٨٧	٠,٣٢٤٧٦٥
٢,٢	٨٥,٢٥٧٧٢	٤٩,٦٧٦٩٦	٠,٢٩٥٢٤١

Min	٥١,٣٩	٤,٥٢	٠,٢٩
Max	٨٥,٢٦	٤٩,٦٨	٣,٢٤
Mean	٦٨,٣٢	٢٧,١٠	١,٧٧

ويلاحظ أيضاً من الجدول (8) نفس الملاحظة السابقة عن زمن الارتفاع التدريجي للسيل وهو زيادة هذه المدة الزمنية نظراً لحسابها أيضاً كما في الأحواض الكبيرة، وبما أنها أيضاً محسوبة من زمن الأساس للسيل باليوم فقد بدت أكبر من قيمتها والتي تراوحت بين 85 و 51 ساعة (حالة 1). ومع تطبيق المعادلة التالية التي تعتمد على زمن الأساس للسيل بالساعات (جدول 8).

المعادلة (27)

$$T_m \text{ hour} = T_b * 2/3$$

تبين من خلال الجدول (8) المنتج منها قصر الفترة الزمنية للانخفاض التدريجي لتدفق السيل وتتراوح بين 4 و 48 ساعة (حالة 2) بدلا من 51 و 85 ساعة. ويستنتج أيضاً مما سبق أنه كلما زادت قيمة معامل التباطؤ C_t زادت فترة الانخفاض التدريجي لتدفق السيل. ويمكن استنتاج أن علاقة معامل التباطؤ C_t في الأحواض علاقة طردية مع جميع قيم الزمن أي بزيادته يزداد زمن استجابة الأحواض للوصول إلى ذروة التدفق t_p كما تزداد الفترة المثالية (القياسية) لهطول الأمطار t_r وزمن الأساس للسيل T_b إضافة إلى ارتفاع زمني ارتفاع السيل T_m وانخفاض السيل T_d .

7- حساب قيمة تدفق الذروة النوعي للحوض المائي $q_p(m^3/s/km^2)$ بتطبيق المعادلة التالية:

المعادلة (28)

$$q_p (m^3/s/km^2) = \frac{Q_p (m^3/s)}{A (km^2)} \quad (\text{Ragunath, 2006})$$

حيث أن:

$A(km^2)$: مساحة الحوض المائي (كلم²).

$Q_p(m^3/s)$: قيمة تدفق الذروة للسيل (م³/ثانية) المحسوب من المعادلة (21).

وتبين من خلال الجدول (9) أن أقصى وأدنى كمية لتدفق الذروة النوعي في حوض وادي عرنة وصلت 3.8 و 0.10 م³/ث/كم².

جدول (9) : حساب تدفق الذروة النوعي لحوض وادى عرنة (م³/ث/كم²).

Ct	Cp						
	٢	٣	٤	٥	٦	٦,٥	
Min	٠,٢	١,١٨١	١,٧٧١٤٤٥	٢,٣٦١٩٢٧	٢,٩٥٢٤٠٨	٣,٥٤٢٨٩	٣,٨٣٨١٣١
٠	٠,٤	٠,٥٩٠٥	٠,٨٨٥٧٢٣	١,١٨٠٩٦٣	١,٤٧٦٢٠٤	١,٧٧١٤٤٥	١,٩١٩٠٦٦
Max	٠,٦	٠,٣٩٣٧	٠,٥٩٠٤٨٢	٠,٧٨٧٣٠٩	٠,٩٨٤١٣٦	١,١٨٠٩٦٣	١,٢٧٩٣٧٧
٤	٠,٨	٠,٢٩٥٢	٠,٤٤٢٨٦١	٠,٥٩٠٤٨٢	٠,٧٣٨١٠٢	٠,٨٨٥٧٢٣	٠,٩٥٥٥٣٣
Mean	١	٠,٢٣٦٢	٠,٣٥٤٢٨٩	٠,٤٧٢٣٨٥	٠,٥٩٠٤٨٢	٠,٧٠٨٥٧٨	٠,٧٦٧٦٢٦
١	١,٢	٠,١٩٦٨	٠,٢٩٥٢٤١	٠,٣٩٣٦٥٤	٠,٤٩٢٠٦٨	٠,٥٩٠٤٨٢	٠,٦٣٩٦٨٩
	١,٤	٠,١٦٨٧	٠,٢٥٣٠٦٤	٠,٣٣٧٤١٨	٠,٤٢١٧٧٣	٠,٥٠٦١٢٧	٠,٥٤٨٣٠٤
	١,٦	٠,١٤٧٦	٠,٢٢١٤٣١	٠,٢٩٥٢٤١	٠,٣٦٩٠٥١	٠,٤٤٢٨٦١	٠,٤٧٩٧٦٦
	١,٨	٠,١٣١٢	٠,١٩٦٨٢٧	٠,٢٦٢٤٣٦	٠,٣٢٨٠٤٥	٠,٣٩٣٦٥٤	٠,٤٢٦٤٥٩
	٢	٠,١١٨١	٠,١٧٧١٤٥	٠,٢٣٦١٩٣	٠,٢٩٥٢٤١	٠,٣٥٤٢٨٩	٠,٣٨٣٨١٣
	٢,٢	٠,١٠٧٤	٠,١٦١٠٤	٠,٢١٤٧٢١	٠,٢٦٨٤٠١	٠,٣٢٢٠٨١	٠,٣٤٨٩٢١

8- حساب الفترة الزمنية W_{50} و W_{75} المناسبين لعرض منحني السيل (الهيدروغراف) عند مستوى 50% و 75% على التوالي من تصريف الذروة بتطبيق

المعادلتين التاليتين:

المعادلة (29) و (30)

$$W_{50}(\text{hr}) = \frac{5.6}{(q_p)^{1.08}}$$

$$W_{75}(\text{hr}) = \frac{3.21}{(q_p)^{1.08}}$$

(Ragunath, 2006)

حيث أن:

$W_{50}(\text{hr})$ و $W_{75}(\text{hr})$: الفترة الزمنية المناسبة لقيمة 50% و 75% من التدفق الأقصى للسيل (م³/ثانية).

q_p : تدفق الذروة النوعي للحوض المائي (م³/ثانية/كم²) وقد تم تقديره من المعادلة (28).

جدول (10) : الفترة الزمنية W_{50} المناسبة لعرض منحى السيل فى حوض وادى عرنة.

Ct	Cp						
	٢	٣	٤	٥	٦	٦,٥	
Min ١	٠,٢	٤,٦٧٩٢١١	٣,٠١٩٩١١	٢,٢١٣٤٠٢	١,٧٣٩٣٩٢	١,٤٢٨٥٠٥	١,٣١٠٢٠٣
	٠,٤	٩,٨٩٢٠٢٢	٦,٣٨٤٢	٤,٦٧٩٢١١	٣,٦٧٧١٣٧	٣,٠١٩٩١١	٢,٧٦٩٨١٧
Max ٦٢	٠,٦	١٥,٣٢٧٢٣	٩,٨٩٢٠٢٢	٧,٢٥٠٢٢١	٥,٦٩٧٥٥٤	٤,٦٧٩٢١١	٤,٢٩١٧٠٢
	٠,٨	٢٠,٩١٢٠٩	١٣,٤٩٦٤٣	٩,٨٩٢٠٢٢	٧,٧٧٣٦٠١	٦,٣٨٤٢	٥,٨٥٥٤٩٣
Mean ١٧	١	٢٦,٦١٠٩٤	١٧,١٧٤٤١	١٢,٥٨٧٧٤	٩,٨٩٢٠٢٢	٨,١٢٣٩٨٩	٧,٤٥١٢
	١,٢	٣٢,٤٠٢٣١	٢٠,٩١٢٠٩	١٥,٣٢٧٢٣	١٢,٠٤٤٨٣	٩,٨٩٢٠٢٢	٩,٠٧٢٨١٤
	١,٤	٣٨,٢٧١٧٧	٢٤,٧٠٠١٧	١٨,١٠٣٦٥	١٤,٢٢٦٦٧	١١,٦٨٣٨٩	١٠,٧١٦٢٩
	١,٦	٤٤,٢٠٨٩٢	٢٨,٥٣١٩٤	٢٠,٩١٢٠٩	١٦,٤٣٣٦٧	١٣,٤٩٦٤٣	١٢,٣٧٨٧٢
	١,٨	٥٠,٢٠٥٨٨	٣٢,٤٠٢٣١	٢٣,٧٤٨٨٣	١٨,٦٦٢٩١	١٥,٣٢٧٢٣	١٤,٠٥٧٩
	٢	٥٦,٢٥٦٥	٣٦,٣٠٧٣١	٢٦,٦١٠٩٤	٢٠,٩١٢٠٩	١٧,١٧٤٤١	١٥,٧٥٢١١
٢,٢	٦٢,٣٥٥٧٩	٤٠,٢٤٣٧٣	٢٩,٤٩٦٠٩	٢٣,١٧٩٣٧	١٩,٠٣٦٤٤	١٧,٤٥٩٩٤	

ويظهر من خلال الجدول (10) أن أدنى فترة زمنية مناسبة لعرض منحى السيل أو الهيدروجراف عند مستوى 50% من تدفق الذروة وصلت 1.3 ساعة، بينما وصلت أقصى فترة زمنية مناسبة لعرض منحى السيل عند نفس المستوى 62 ساعة.

جدول (11) : الفترة الزمنية W_{75} المناسبة لعرض منحى السيل فى حوض وادى عرنة.

Ct	Cp						
	٢	٣	٤	٥	٦	٦,٥	
Min ١	٠,٢	٢,٦٨٢١٩١	١,٧٣١٠٥٦	١,٢٦٨٧٥٤	٠,٩٩٧٠٤٤	٠,٨١٨٨٣٩	٠,٧٥١٠٢٧
	٠,٤	٥,٦٧٠٢٤٨	٣,٦٥٩٥١٥	٢,٦٨٢١٩١	٢,١٠٧٧٨٨	١,٧٣١٠٥٦	١,٥٨٧٦٩٩
Max ٣٦	٠,٦	٨,٧٨٥٧٨٦	٥,٦٧٠٢٤٨	٤,١٥٥٩٣	٣,٢٦٥٩١٩	٢,٦٨٢١٩١	٢,٤٦٠٠٦٥
	٠,٨	١١,٩٨٧١١	٧,٧٣٦٣٤٦	٥,٦٧٠٢٤٨	٤,٤٥٥٩٣٩	٣,٦٥٩٥١٥	٣,٣٥٦٤٥٢
Mean ١٠	١	١٥,٢٥٣٧٧	٩,٨٤٤٦١٥	٧,٢١٥٤٧٤	٥,٦٧٠٢٤٨	٤,٦٥٦٧٨٧	٤,٢٧١١٣٥
	١,٢	١٨,٥٧٣٤٧	١١,٩٨٧١١	٨,٧٨٥٧٨٦	٦,٩٠٤٢٧١	٥,٦٧٠٢٤٨	٥,٢٠٠٦٦٦
	١,٤	٢١,٩٣٧٩٣	١٤,١٥٨٤٩	١٠,٣٧٧٢٧	٨,١٥٤٩٣٢	٦,٦٩٧٣٧٥	٦,١٤٢٧٣٢
	١,٦	٢٥,٣٤١١٨	١٦,٣٥٤٩٢	١١,٩٨٧١١	٩,٤٢٠٠١٦	٧,٧٣٦٣٤٦	٧,٠٩٥٦٦١
	١,٨	٢٨,٧٧٨٧٣	١٨,٥٧٣٤٧	١٣,٦١٣١٧	١٠,٦٩٧٨٥	٨,٧٨٥٧٨٦	٨,٠٥٨١٩١
	٢	٣٢,٢٤٧٠٣	٢٠,٨١١٨٧	١٥,٢٥٣٧٧	١١,٩٨٧١١	٩,٨٤٤٦١٥	٩,٠٢٩٣٣٣
	٢,٢	٣٥,٧٤٣٢٣	٢٣,٠٦٨٢٨	١٦,٩٠٧٥٨	١٣,٢٨٦٧٤	١٠,٩١١٩٦	١٠,٠٠٨٢٩

بينما أظهر الجدول (11) أن أدنى فترة زمنية مناسبة لعرض منحني السيل أو الهيدروجراف عند مستوى 75% من تدفق الذروة وصلت 0.75 ساعة، بينما وصلت أقصى فترة زمنية مناسبة لعرض منحني السيل عند نفس المستوى 35 ساعة.

9- حساب تركيز الأمطار المناسبة لتدفق الذروة بتطبيق المعادلة التالية:

المعادلة (31)

$$i \text{ (cm/hr)} = \frac{1}{t_r \text{ (hr)}} \text{ (Raghunath, 2006)}$$

حيث أن:

$i \text{ (cm/hr)}$: تركيز (كثافة) الأمطار في الزمن (سم/ ساعة).

$t_r \text{ (hr)}$: الفترة الزمنية القياسية لهطول الأمطار (ساعات) وقد تم تقديرها بواسطة المعادلة (20).

وتبين من خلال الجدول (8) أن أدنى تركيز (كثافة) أمطار مناسبة لتدفق الذروة وصلت 0.29 سم/ ساعة في حوض وادي عرنه بينما وصل أقصى تركيز للأمطار مناسب لتدفق الذروة 3.24 سم/ ساعة في الحوض. ويمكن استخلاص العلاقة بين قيمة الفترة الزمنية للأمطار t_r وقيمة تركيز أو كثافة الأمطار i بأن العلاقة عكسية بينهما، أي إذا زادت قيمة t_r ومعها أيضاً فترة وحدة الهيدروجراف قلت قيمة التركيز للأمطار i والعكس صحيح أيضاً، فإذا قلت وحدة الهيدروجراف زاد تركيز الأمطار وهو ما يعني أن علاقة تركيز الأمطار بعامل التباطؤ C_t علاقة عكسية أيضاً.

10- حساب حجم السيل بتطبيق المعادلة الآتية:

المعادلة (32)

$$AL \text{ (Hm}^3\text{)} (10^6 \text{m}^3) = Q_p \text{ (m}^3\text{/s)} \left[T_m \text{ (sec.)} 10^{-6} \right] \text{ (PNUD-OPE, 1987)}$$

حيث أن :

AL : حجم التدفق للسيل على مستوى الحوض المائي (مليون م³).

Q_p : التدفق الأقصى للسيل (م³/ثانية) وقد تم تقديره من المعادلة (21).

$T_m \text{ (hr)}$: فترة الارتفاع التدريجي لتدفق السيل (ساعات) وقد تم تقديرها من المعادلة (24).

جدول (12) : أحجام السيول في وادي عرنه (مليون متر مكعب).

Ct	Cp						
	٢	٣	٤	٥	٦	٦,٥	
Min	٠,٢	٦١,٧٥	٩٢,٦٣	١٢٣,٥٠	١٥٤,٣٨	١٨٥,٢٥	٢٠٠,٦٩
٩	٠,٤	٣٢,٩١	٤٩,٣٧	٦٥,٨٢	٨٢,٢٨	٩٨,٧٣	١٠٦,٩٦
Max	٠,٦	٢٣,٣٠	٣٤,٩٥	٤٦,٥٩	٥٨,٢٤	٦٩,٨٩	٧٥,٧٢
٢٠.١	٠,٨	١٨,٤٩	٢٧,٧٤	٣٦,٩٨	٤٦,٢٣	٥٥,٤٧	٦٠,٠٩
Mean	١	١٥,٦١	٢٣,٤١	٣١,٢١	٣٩,٠٢	٤٦,٨٢	٥٠,٧٢
٤٤	١,٢	١٣,٦٨	٢٠,٥٣	٢٧,٣٧	٣٤,٢١	٤١,٠٥	٤٤,٤٧
	١,٤	١٢,٣١	١٨,٤٧	٢٤,٦٢	٣٠,٧٨	٣٦,٩٣	٤٠,٠١
	١,٦	١١,٢٨	١٦,٩٢	٢٢,٥٦	٢٨,٢٠	٣٣,٨٤	٣٦,٦٦
	١,٨	١٠,٤٨	١٥,٧٢	٢٠,٩٦	٢٦,٢٠	٣١,٤٤	٣٤,٠٦
	٢	٩,٨٤	١٤,٧٦	١٩,٦٨	٢٤,٦٠	٢٩,٥١	٣١,٩٧
	٢,٢	٩,٣١	١٣,٩٧	١٨,٦٣	٢٣,٢٨	٢٧,٩٤	٣٠,٢٧

ويظهر من الجدول (12) أن أدنى حجم للسيول في حوض عرنه وصل 9.3 مليون م³، بينما قدر الحجم الأقصى للسيول في الحوض المذكورين 200 مليون م³.

11- حساب سمك (عمق) الجريان السطحي المناسب لذروة تدفق السيل باستخدام المعادلة الآتية:

المعادلة (33)

$$E(\text{mm}) = Q_p \max (\text{m}^3/\text{s}) \left[(T_m (\text{sec.}) \times 10^{-3}) (S^{-1} (\text{km}^2)) \right]$$

حيث أن:

E (mm): عمق (سمك) الجريان السطحي (مم).

T m (sec.): فترة الارتفاع التدريجي لتدفق السيل (ثانية) وقد تم تقديره من المعادلة (24).

جدول (13) : عمق الجريان السطحي المناسب لذروة تدفق السيل في وادي عرنه.

Ct	Cp						
	٢	٣	٤	٥	٦	٦,٥	
Min	٠,٢	١٠٩,٢٤	١٦٣,٨٥	٢١٨,٤٧	٢٧٣,٠٩	٣٢٧,٧١	٣٥٥,٠١
١٦	٠,٤	٥٨,٢٢	٨٧,٣٣	١١٦,٤٤	١٤٥,٥٤	١٧٤,٦٥	١٨٩,٢١
Max	٠,٦	٤١,٢١	٦١,٨٢	٨٢,٤٢	١٠٣,٠٣	١٢٣,٦٤	١٣٣,٩٤
٣٥٥	٠,٨	٣٢,٧١	٤٩,٠٦	٦٥,٤٢	٨١,٧٧	٩٨,١٣	١٠٦,٣٠
Mean	١	٢٧,٦١	٤١,٤١	٥٥,٢١	٦٩,٠٢	٨٢,٨٢	٨٩,٧٢
٧٨	١,٢	٢٤,٢١	٣٦,٣١	٤٨,٤١	٦٠,٥١	٧٢,٦٢	٧٨,٦٧
	١,٤	٢١,٧٨	٣٢,٦٦	٤٣,٥٥	٥٤,٤٤	٦٥,٣٣	٧٠,٧٧
	١,٦	١٩,٩٥	٢٩,٩٣	٣٩,٩١	٤٩,٨٩	٥٩,٨٦	٦٤,٨٥
	١,٨	١٨,٥٤	٢٧,٨١	٣٧,٠٧	٤٦,٣٤	٥٥,٦١	٦٠,٢٥
	٢	١٧,٤٠	٢٦,١١	٣٤,٨١	٤٣,٥١	٥٢,٢١	٥٦,٥٦
	٢,٢	١٦,٤٨	٢٤,٧١	٣٢,٩٥	٤١,١٩	٤٩,٤٣	٥٣,٥٥

ويتبين من الجدول (13) أن أقل سمك للجريان السطحي المناسب لذروة تدفق السيول في حوض عرنه 16 ملم، بينما وصل أكبر سمك للجريان في الحوض المذكور 333 ملمتر.

12- حساب قوة السيل "A" بتطبيق المعادلة التالية:

المعادلة (34)

$$A = \frac{Q_p \text{ (m}^3\text{/s)}}{\sqrt{S \text{ (km}^2\text{)}}} \quad (\text{Parde, 1961})$$

حيث أن:

$Q_p \text{ (m}^3\text{/s)}$: تصريف ذروة السيل ($\text{م}^3\text{/ثانية}$) وقد تم تقديره من المعادلة (21).

$S \text{ (km}^2\text{)}$: مساحة الحوض المائي (كلم²).

A : معامل قوة السيل.

جدول (14) : معامل قوة السيول في وادي عرنه.

Ct	Cp						
	٢	٣	٤	٥	٦	٦,٥	
Min	٠,٢	٢٨,١	٤٢,١	٥٦,٢	٧٠,٢	٨٤,٢	٩١,٣
٣	٠,٤	١٤,٠	٢١,١	٢٨,١	٣٥,١	٤٢,١	٤٥,٦
Max	٠,٦	٩,٤	١٤,٠	١٨,٧	٢٣,٤	٢٨,١	٣٠,٤
٩١	٠,٨	٧,٠	١٠,٥	١٤,٠	١٧,٥	٢١,١	٢٢,٨
Mean	١	٥,٦	٨,٤	١١,٢	١٤,٠	١٦,٨	١٨,٣
١٧	١,٢	٤,٧	٧,٠	٩,٤	١١,٧	١٤,٠	١٥,٢
	١,٤	٤,٠	٦,٠	٨,٠	١٠,٠	١٢,٠	١٣,٠
	١,٦	٣,٥	٥,٣	٧,٠	٨,٨	١٠,٥	١١,٤
	١,٨	٣,١	٤,٧	٦,٢	٧,٨	٩,٤	١٠,١
	٢	٢,٨	٤,٢	٥,٦	٧,٠	٨,٤	٩,١
	٢,٢	٢,٦	٣,٨	٥,١	٦,٤	٧,٧	٨,٣

ويظهر من خلال الجدول (14) أن أدنى قيمة لمعامل قوة السيول في حوض عرنه هي 2.6، بينما وصلت أعلى قيمة للمعامل المذكور في الحوض 91.3.

وكما هو موضح فإنه بالإمكان تطبيق نموذج سنايدر على أي حوض كان، وفي أي منطقة تقتقر إلى بيانات متهيدرولوجية إلا أن النتائج المستخرجة تبقى نظرية بحتة، ويمكن الرجوع إليها والاعتماد عليها في تحديد الحدود القصوى والوسطى والدنيا لقيم خصائص السيول في هذه الأحواض. وهو ما يعني أن القيم المشتقة من النموذج تبقى رياضية بحتة، وهو ما توضحه قيم الجدول رقم (15).

حسب القيم العظمى والوسطى والدنيا لمعالمي الـ ct والـ cp حيث بالإمكان اشتقاق جميع الأزمنة المتعلقة بالنموذج من خلال زمن الاستجابة للحوض أو الأحواض tp، وهو المرتبط أساساً بثوابت لا تتغير مثل طول المجرى الرئيسي Lb ومركز ثقل الحوض Lca أو المساحة A، وهو ما يعني الخروج بنتائج تشمل جميع الأنواع المحتملة لخصائص الأحواض المائية، سواء تلك عديمة النفاذية بالمطلق،

وحتى تلك ذات النفاذية العالية جداً، وأيضاً من الأحواض شبه المستوية إلى تلك شديدة الانحدار، وهو ما يعطي عشرات من نماذج الأحواض المائية. بحسب قيم معاملات زمن تدفق الذروة (التباطؤ) ct أو تدفق الذروة cp. ومن ثم تبقى القيمة الفعلية لأي تطبيق لهذا النموذج مرهونة بما اشترطه سنايدر نفسه عن نقل بيانات عاملي زمن تدفق الذروة peak flow time factor (ct) أو معامل تدفق الذروة peak flow factor (cp) من حوض مقياس geged basin ومثابه في الخصائص الطبيعية ومجاور للحوض غير المقياس ungaged basin المراد تطبيق النموذج عليه.

جدول (15) : القيم الكمية والزمنية لتدفق السيول في حوض وادي عرنة.

حوض وادي عرنة			المتغير
Qp Min.	Qp Mean.	Qp Max.	
٢٤,٧٥	٢٤,٧٥	٢٤,٧٥	Lca (Km)
٥٠	٥٠	٥٠	Lb (Km)
٢,٢	١,٢	٠,٢	Ct
٢	٤,٢٥	٦,٥	Cp
١,٦٩	١٠,١٦	١٨,٦٣	tp (hr)
٠,٣١	١,٨٥	٣,٣٩	tr (hr)
٦١	٤٠٥	٢١٧٠	Qp (m ³ /S)
٦,٧٧	٤٠,٦٤	٧٠,٥٢	Tb (hr)
٢,٢٦	١٣,٥٥	٢٤,٨٤	Tm (hr)
٤,٥٢	٢٧,١٠	٤٩,٦٨	Td (hr)
٠,١٠	١	٣,٨٣	Qp (m ³ /S/km ²)
١,٣	١٧	٦٢,٣٥	(hr)W ₅₀
٠,٧٥	١٠	٣٥,٧٤	(hr)W ₇₅
٠,٢٩	١	٣,٢٤	i (cm/hr)
٩,٣١	٤٤	٢٠٠,٦٩	AL (10 ⁶ m ²)
١٦,٤٨	٧٨	٣٥٥	E (mm)
٢,٦	١٧	٩١,٣	“A”

وكما سبقت الإشارة إليه في الدراسات السابقة فقد تم الحصول على بيانات حول

تقدير حجم الجريان وقيمة زمن الاستجابة والمستخرجة من بيانات مسجلة لعواصف مطرية في حوض وادي عرنة (Fred and Mostafa, 2000) ومن ثم أمكن اشتقاق قيمة الـ ct والـ cp لحوض وادي عرنة، والتي وصلت 1.4 و 10.6 على التوالي لكلا العاملين حسب نموذج سنايدر، ويتضح من خلاله أن المعامل الأول يبقى ضمن المعدل ، بينما تبدو قيمة المعامل الثاني عالية جداً وخارج قيم النموذج.

وحيث أن حساب الجريان لحوض وادي عرنة والذي قام به البعض قد أغفل تماماً الفارق أثناء الجريان (عامل نفاذية الحوض) (Fred and Mostafa, 2000, p. 11) الأمر الذي رفع قيمة الـ cp إلى هذه الدرجة. ومن ثم وحسب خصائص الحوض فإن القيمة المشتقة ليست منطقية ويمكن تجاهلها بالمقارنة بقيمة معامل الـ ct . ويمكن الاعتماد على الدراسة السابقة والتي أغفلت كميات التسرب لتقليل تصريف الذروة التي قدرتها لمنطقة البحث، ومن ثم التقليل من قيم كلا من معاملي ct و cp . وإذا ما أخذنا في الاعتبار الخصائص الشكلية للحوض، سواء أكان لمعامل الاستدارة $Circularity Index$ أو نسبة الاستطالة $Elongation Ratio$ ومعامل الشكل $Factor Form$ إضافة إلى تموضع عدد من الأحواض الجزئية قرب المجرى الأدنى فإن كل ذلك يدفعنا إلى التقليل من عامل زمن تدفق الذروة (ct) الذي حدد للوادي.

أما بالنسبة لعامل تدفق الذروة (cp) فإن الخصائص المحددة له والمتعلقة بالنفاذية بالدرجة الأولى تجعله عالي النفاذية نظراً لخصائصه الجيولوجية المتمثلة بنسبة الصخور المنفذة التي تشغل حوضه والتي ترتفع لتشكّل ما نسبته 42% من مساحة الحوض، ومن ثم فإن قيمة الـ cp يجب أن لا تتعدى القيمة العليا لهذا العامل في حوض الوادي وهي 6.5، وعلى هذا الأساس يمكن الأخذ بالقيم المناسبة لهذين العاملين في الحوض حسب ما تم اشتقاقه من خلال العاصفة المطرية التي تم تسجيلها في الحوض الأدنى لمنطقة البحث في تطبيق نموذج سنايدر أي أن قيمة الـ ct والـ cp لحوض وادي عرنة هي عند 0.8 و 6.0 على التوالي، وبناء عليه يمكن تحديد جميع قيم النموذج لرسم هيدروجراف أقرب إلى الواقع ابتداء من زمن استجابة الأحواض tp وحتى تحديد عرض منحنى الهيدروجراف عند مستوى

50% و75% من ذروة التصريف.

ويمكن الآن بعد اعتماد المعاملات المذكورة أعلاه تحديد قيم تطبيق نموذج سنايدر والتي ظهرت نتائجها من خلال الجدول رقم (16) الذي يمثل القيم الكمية والفترات الزمنية لتصريف الذروة للسيول في حوض عرنة.

جدول (16) : القيم الكمية والزمنية لتصريف الذروة في حوض عرنة

بعد تحديد قيمتي الـ ct والـ cp .

المتغير	Qp Max.
Lca (Km)	٢٤,٧٥
Lb (Km)	٥٠
Ct	٠,٨
Cp	٦
tp (hr)	٦,٧
tr (hr)	١,٢٣
Qp (m^3/S)	٥٠٠,٧
Tb(hr)	٢٧
Tm (hr)	٩,٠٣
Td (hr)	١٨,٠٦
Qp ($m^3/S/km^2$)	٠,٨٨٥
(hr)W ₅₀	٦,٣٨
(hr)W ₇₅	٣,٦٥
i (cm/hr)	٠,٨١١
AL ($10^6 m^2$)	٥٥,٤٧
E (mm)	٩٨,١٣
“A”	٢١,١

خامساً : مناقشة النتائج.

تبين من خلال ما سبق أن الاعتماد على خصائص الأحواض لتقدير الجريان أو اشتقاق الهيدروجراف (المخطط المائي) بدون نقل معاملات الـ ct والـ cp من أحواض مقاسة إلى الحوض هدف البحث قد أعطى قيمةً نظريةً قد لا يكون لها أي قيمة فعلية في تقدير الجريان للحوض المدروس، نظراً لأن معاملات الـ ct والـ cp إنما تعكس خصائص الحوض المقاس (الانحدار والنفذية والشكل والمساحة وغيرها....) والتي يجب أن تتشابه مع الحوض غير المقاس حتى يمكن الوصول إلى تقدير صحيح لهذا الجريان. نظراً إلى أن القيم العظمى التي غالباً ما تظهر عند تطبيق النماذج النظرية إنما تعكس الخصائص الطبيعية للحوض، والتي نشأت في فترات مناخية مختلفة تماماً عما هو عليه الحال في الوقت الحاضر. إذ أن الجريان خلال هذه الفترات السابقة هو من قام بنحت أحواض هذه الأودية والتي تعد موروثاً عن الماضي.

وهكذا نخلص إلى أن القيمة الحقيقية للنماذج التي تعتمد على خصائص الأحواض ومنها نموذج سنايدر Snyder's Model هي تطبيقها ضمن الظروف المناخية الحالية، وبما تتصف به هذه الأحواض من خصائص طبيعية يمكن تقديرها من خلال أحواض مقاسة ومجاورة، مع الاستعانة بالسجلات التاريخية للعواصف المطرية إن وجدت.

وفيما يلي مقارنة لنتائج القيم الكمية والزمنية لتصريف السيول في حوض عرنة حسب القيم العظمى والدنيا لمعاملي الـ ct والـ cp، والقيم الكمية والزمنية لتصريف الذروة للسيول في حوض عرنة بعد تحديد قيمتي الـ ct والـ cp (جدول 16).

1- وصل تصريف الذروة الأقصى للسيول في وادي عرنة 2170 م³/ث، بتدفق نوعي قدره 3.83 م³/كم²، وبحجم جريان سطحي قدره 200 مليون متر مكعب، وبعمق جريان سطحي قدره 355 ملم (جدول 15).

بينما وصل تصريف الذروة الأدنى للسيول في وادي عرنة 61 م³/ث، بتدفق نوعي قدره 0.10 م³/ث/كم²، وبحجم جريان سطحي قدره 9.3 مليون متر مكعب، وبعمق جريان سطحي قدره 16.5 ملم.

ويتضح من خلال مقارنة القيم القصوى والدنيا لتصريف ذروة السيول في

حوض وادي عرنة أن القيم القصوى تزيد بنسبة 36 مرة عن القيم الدنيا لكل من تصريف الذروة وتصريف الذروة النوعي، كما تزيد القيم القصوى بنسبة 22 مرة عن القيم الدنيا لكل من الحجم الكلي للسيول وعمق الجريان السطحي. وتتفق هذه النتائج مع جميع نتائج دراسات السيول التي اعتمدت تطبيق نموذج سنايدر دون تحديد قيمة معاملي الـ ct والـ cp (بوروبه، 2007؛ الجعيدي، 2008).

وتبدو القيم القصوى للتصريف المذكورة أعلاه بعيدة جداً عن الواقع وهي بطبيعة الحال تبقى قيم نظرية كما سبقت الإشارة إليه. وللمقارنة فإن تصريف نهر الفرات عند الحدود السورية التركية 500 م³/ث، وتصريف نهر النيل الأبيض عند الخرطوم يصل في أقصاه 1040 م³/ث وفي أدناه 380 م³/ث، وهو ما يعني أن قيم التصريف القصوى لحوض عرنة هي أكبر من هذين النهرين عند النقاط المقاسة المذكورة، وهو ما يؤكد ما تم التوصل إليه من أن هذه القيم القصوى للتصريف إنما تعكس القيم الافتراضية لحوض عرنة والمستمدة من خصائص الأحواض. والتي لا يتم الاعتماد عليها أو الأخذ بها عادةً لتقدير القيم القصوى لتصريف السيول أو حجمها ومن ثم لتخطيط الجسور أو العبارات أو السدود بناء عليها.

2- أشارت نتائج قياس العاصفة المطرية في 2010/2/13 وقياس خصائص السيل الناجم عنها إلى إمكانية تحديد معاملي تدفق الذروة ct وزمن تدفق الذروة cp لحوض وادي عرنة عند 0.8 و 6 لكل منهما على التوالي وهو ما أتاح الفرصة لتحديد جميع القيم الأخرى في نموذج سنايدر الذي يشترط الحصول على قيمة هذين المعاملين من حوض مجاور أو قياسهما من عاصفة مطرية. ومن ثم يمكن القول بأن تصريف الذروة الأقصى للسيول في حوض وادي عرنة (جدول 16) 500.7 م³/ث، بتدفق نوعي قدره 0.88 م³/ث/كم²، وبحجم جريان سطحي قدره 55.47 مليون متر مكعب وبعمق جريان سطحي قدره 98 ملم (شكل 18).



شكل (18) : التقاء سيل وادي عرنة مع بداية مشعر عرفات.

وقد تم حساب هذه القيم بعد تحديد معاملي الـ ct والـ cp للحوض المذكور وذلك عند 0.8 و 6.0 . كما يلاحظ من خلال نتائج البحث قصر زمن الاستجابة للحوض tp الى 6.7 ساعة وقصر الفترة الزمنية للوصول إلى ذروة التصريف Tp ، إضافة إلى قصر القاعدة الزمنية للهيدروجراف (زمن الأساس للسيل) Tb إلى 27 ساعة، وأيضاً انخفاض القيم الكمية لتصريف الذروة Qp مقارنة بالدراسات السابقة في هذا المجال والتي تم حسابها نظرياً دون أخذ التسرب بعين الاعتبار.

3- أظهرت الدراسة للعاصفة المطرية التي وصلت 55 ملليمتراً التي سقطت على الحوض الأدنى (حوض وادي البجدي) والسيل الناجم عنها أن قيم تصريف

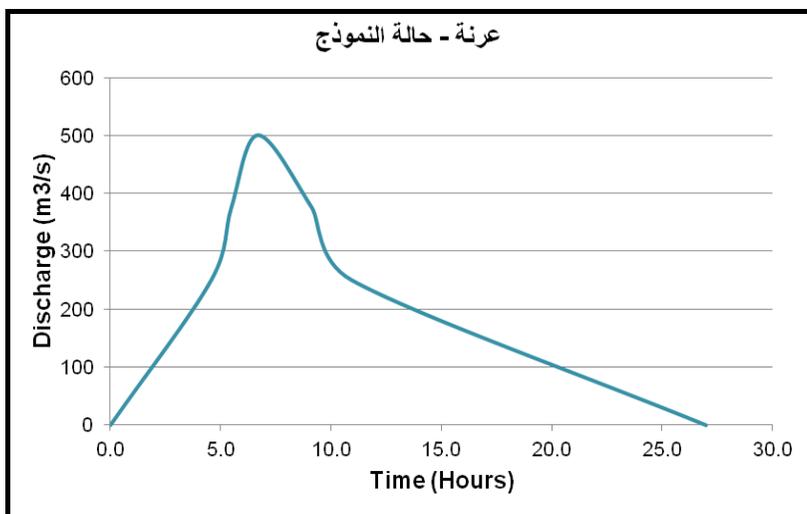
الذروة للسيل قد وصلت 431 م³/ثانية وذلك من خلال تطبيق طريقة ماننج Manning Method وهي قيم تصريف عالية إذا ما قورنت بقيمة تصريف الذروة الأقصى حسب نموذج سنايدر وخاصة أن شدة العاصفة المطرية ليست بالكبيرة، ويمكن تعليل ذلك بسقوط أمطار العاصفة على الحوض الأدنى لوادي عرنة وهو ما أكده قصر زمن الاستجابة tp (3 ساعات) وزمن الوصول للذروة Tp (4 ساعات) وقاعدة الأساس للسيل (12 ساعة).

4- أظهرت القياسات الميدانية للسيل ارتفاعه إلى 1.6 م (صورة 1) وهو ارتفاع يقل 0.25 م فقط عن عارضة الجسور القديمة فوق المجرى (صورة 2) وهو ما يمثل خطورة كبيرة في حال ارتفاع السيل ووصوله إلى عوارض هذه الجسور بينما تبقى الجسور الحديثة بعيدة عن هذه المخاطر (صورة 3).



صورة (3) : بعض الجسور المرتفعة التي لا تتأثر بارتفاع السيل.

5- أكدت الدراسة ما ذكره سنايدر من تباين القاعدة الزمنية للسيل (زمن الأساس) بين الأحواض الكبيرة والأحواض الصغيرة حيث وصل زمن الأساس للسيل إلى 3 أضعاف زمن الوصول إلى ذروة التصريف T_p في حوض البجدي (رافد عرنة) بينما وصل هذا الزمن إلى 4 أضعاف زمن الوصول إلى الذروة في حوض وادي عرنة وهو ما ظهر جليا في أشكال الهيدروجراف لكلا الحالتين (أشكال 9 و 19).



شكل (19) : هيدروجراف حوض وادي عرنة حسب نموذج سنايدر.

ملخص النتائج والتوصيات :

ويمكن تلخيصها بالنقاط التالية:

1. تمت عملية قياس ميدانية للعاصفة المطرية التي حدثت في 2010/2/13 ودراسة خصائص السيل الناجم عنها، إضافة إلى اشتقاق معاملات الـ ct والـ cp الهامة لنموذج سنايدر وتطبيقه مستقبلا على الأحواض المجاورة والمشابهة لحوض وادي عرنة.

2. تم تقدير قيم تصريف الذروة وحجم السيول اعتماداً على الخصائص المورفومترية والطبيعية للحوض حسب نموذج سنايدر Snyder Model وذلك باعتماد قيمة مناسبة لمعاملتي الـ ct والـ cp بحيث تعكس القيم القصوى المرجحة لأية سيول تحدث في مجاري أودية منطقة البحث أو الأودية المجاورة لها، وتبين منها أن تصريف الذروة للسيول يصل 500.7 م³/ث. بينما يصل الحجم الكلي للسيول 55.47 مليون متر مكعب. أما معامل قوة السيول فقد وصل 21.1 في أودية منطقة البحث.
3. إهمال مناقشة القيم الدنيا لتصريف السيول لعدم أهميتها من الناحية العملية أولاً ولأهداف البحث ثانياً، كما تم إهمال القيم الدنيا لأحجام السيول للأسباب ذاتها.
4. تبين أن زمن الأساس للسيل بالساعات هو الأنسب لحوض وادي عرنة نظراً لصغر مساحة حوضه (الحالة 1 و 2) (جدول 6).
5. تتمثل خطورة سيول منطقة البحث في عدة نقاط يمكن تلخيصها فيما يلي:
 - أ. عملية إشغال مجاري الأودية بالأنشطة البشرية وهو ما يؤدي إلى خطر تدمير المنشآت المقامة فيها لوقوعها في مواجهة السيول أولاً، ولدورها في إعاقة سرعة الجريان ثانياً. وهو ما ينجم عنه تباطؤ في تصريف السيول وتجميع للمياه مما يرفع من منسوبها وفيضانها إلى مستويات أكثر ارتفاعاً وهو ما يزيد من مساحة المناطق المتضررة بهذه السيول.
 - ب. عدم تنظيف عبارات السيول أو أنفاق الجسور من الرواسب أو مجرقات السيول والتي تؤدي إلى ضيق مساحة القطاع العرضي لهذه العبارات أو الأنفاق (كما لوحظ ذلك أسفل عدد من الجسور) وهو ما يؤدي إلى قصور في تصريف الماء - نظراً لضيق القطاع العرضي - وارتفاعه إلى مستويات قد تؤدي إلى تدمير هذه الجسور بسبب الفعل الهيدروليكي لمياه هذه السيول،

وهو ما حدث في عقبة ضلع عندما رفعت مياه السيول جسور المجاري وألقتها على جوانب الوادي في عامي 1982 و 1983.

ج. ليس هناك ما يشير إلى أي خطورة من سيول وادي عرنة نظراً للمساحة الواسعة للقطاع العرضي له عند بداية عرفات والتي تساهم في تخفيض مستوى ارتفاع السيول إلى حدودها الدنيا شريطة استمرار عملية تنظيف وتجريف الرواسب من أسفل عبارات الجسور المقامة على الوادي. وخاصة أسفل الجسور القديمة المنخفضة المنسوب.

6. تم اشتقاق مخطط مائي (هيدروجراف) لوادي عرنة لعدد من الحالات يمكن الاعتماد عليه في التنبؤ بزمن تصريف الذروة للسيول في الوادي وخاصة في حال حدوث عاصفة مطرية ذات شدة محددة إضافة إلى التنبؤ بالزمن الذي تستمر فيه هذه السيول بالجريان (أشكال 9 و 19).

المراجع

أولاً : المراجع العربية :

1. أحمد، بدر الدين يوسف (1992م)، مناخ مكة المكرمة، سلسلة بحوث العلوم الاجتماعية 15 معهد البحوث العلمية وإحياء التراث الإسلامي، مركز بحوث العلوم الاجتماعية، مكة المكرمة.
2. أحمد، بدر الدين يوسف (2006م)، تطرق العناصر المناخية في المملكة العربية السعودية. سلسلة الإصدارات الخاصة. مركز دراسات الخليج والجزيرة العربية، العدد 16 الكويت.
3. بوروبه، محمد (2007م)، دراسة هيدرومورفومترية لتقدير حجم سيول حوض وادي عتود بالمملكة العربية السعودية، سلسلة، الإصدارات الخاصة، عدد (21)، مركز دراسات الخليج والجزيرة العربية، الكويت.
4. الجعدي، فرحان (2005م)، استخدام صور الاستشعار عن بُعد الرقمية عالية الوضوح المكاني لتحديد امتداد فيضانات السيول في سهل الخرج. الجمعية الجغرافية، السعودية، سلسلة رقم 71، جامعة الملك سعود، الرياض.
5. الجعدي، فرحان (2008م)، الخصائص الهيدرومورفومترية وخصائص السيول في أحواض السدود المقترحة على أودية عليية في محافظة الخرج، الجمعية الجغرافية السعودية، بحوث جغرافية العدد 84، جامعة الملك سعود، الرياض.
6. الجعدي، فرحان وبوروبه، محمد (1428هـ)، تقدير تدفق الذروة للسيول بحوض وادي العين بمحافظة الخرج في المملكة العربية السعودية، مركز البحوث، كلية الآداب، جامعة الملك سعود، عدد 121، الرياض.
7. الحواس، علي عساف (1428 هـ)، توظيف تكاملي لتقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لتحديد وتحليل الخصائص الهيدرومورفومترية لأحواض التصريف الصحراوي، بحوث جغرافية (81)، الجمعية الجغرافية السعودية، الرياض.

8. الدليمي، أحمد عامر (1995م)، تطوير طريقة انتقاء الجذور لاشتقاق الهيدروجراف القياسي، رسالة ماجستير، كلية الهندسة، جامعة الموصل.
9. الروسان، نايف والقرالة، محمد (2008م)، استخدام نظم المعلومات الجغرافية في دراسة خصائص حوض وادي شعيب في الأردن، جامعة مؤتة، الأردن.
10. شومان، سامر أحمد سمير (1418هـ)، السجل التاريخي للسيول في وادي إبراهيم وأثرها على المسجد الحرام، مركز أبحاث الحج، جامعة أم القرى، مكة المكرمة.
11. الصالح، محمد عبدالله (1992م)، بعض طرق قياس المتغيرات في أحواض التصريف، مركز بحوث كلية الآداب، جامعة الملك سعود، الرياض.
12. الغامدي، سعد (2004م)، استخلاص شبكة التصريف السطحي للمياه باستعمال المعالجة الآلية لبيانات الأقمار الصناعية: دراسة على منطقة جبل نعمان، مجلة جامعة أم القرى للعلوم التربوية والاجتماعية والإنسانية، م16، (2) ص ص 287-316.
13. الغامدي، سعد (2006م)، توظيف نظم المعلومات الجغرافية في استخراج بعض القياسات المورفومترية من نماذج الارتفاعات الرقمية. دراسة حالة وادي ذرى في المملكة العربية السعودية، الجمعية الجغرافية الكويتية، رسائل جغرافية عدد 317. الكويت.
14. مرزا، معراج نواب، وأحمد، بدر الدين يوسف (2001م)، أحوال الطقس والمناخ في الشتاء بمكة المكرمة، الجمعية الجغرافية الكويتية، قسم الجغرافيا بجامعة الكويت، العدد 253، الكويت.
15. مرزا، معراج والبارودي، محمد (2005م)، السمات المورفولوجية والخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لأودية الحرم المكي، مجلة جامعة أم القرى للعلوم التربوية والاجتماعية والإنسانية، م 17 العدد 3، مكة المكرمة.
- ثانياً : المراجع غير العربية :

1. ASTER, 2010, ASTER Web site at: <http://www.ersdac.or.jp/GDEM/E/1.html>, Accessed January 2010.
2. Chow, V.T., Maidment, D., and Mays, L.W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw Hill.
3. Clark, C.O. (1945). Storage and The Unit Hydrograph. *Proc. Am. Soc. Civ. Eng.*, Vol. 9, pp. 1333-1360.
4. Development Commission of Makkah, Madinah and Holy Sites.
5. Dooge, J.C.I. (1959). A General Theory of the Unit Hydrograph. *Journal of Geophysical Research*, 64(2): 241-256.
6. Fred, E and Mostafa, B. (2008). Flood Risk Modeling for Holy Sites in Makkah,
7. Hadley, R.F. (1986). Fluvial transport of sediment in arid and semi-arid regions. *Proc. Int. Symp. on Erosion and Sedimentation in Arab Countries*. Iraqi J. Water Res., Vol. 5, pp. 335-348.
8. Horton, R. E.,(1945). Erosional development of stream and their drainage basins: Hydrophysical applications of quantitative morphology. *Bull. Geol. Soc. Am.*, Vol. 56, pp. 275-370. Hudson,
9. Maidment, D.R. (1993). *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill Book, 12.1-12.61
10. Ramírez, J.A. (2000). Prediction and Modeling of Flood Hydrology and Hydraulics. Chapter 11 of *Inland Flood Hazards: Human, Riparian and Aquatic Communities* Eds. Ellen Wohl; Cambridge University Press.
11. Saudiconsult (1987). Sedimentation control project for Jizan dam reservoir. Draft feasibility report. Saudi Arabian Minist. Agric. Wat., Unpublished Report.
12. Sen, Z. and Al-Suba'i, K. (2002). Hydrologic considerations for dam siting in arid regions: A Saudi Arabian study. *Hydrol. Sci. J.*, 47(1): 1-19.
13. Sen, Zekâi (2008). *Wadi hydrology*, CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business
14. Sherman, L.K. (1932). Streamflow from Rainfall by the Unit Graph Method. *Eng. News Rec.*, 108, 501-505.
15. Snyder, F.F. (1938). Synthetic Unit Graphs. *Trans. Am. Geophys. Union*, 19: 447-454.
16. Soil Conservation Service, Hydrology, (1972). Sec. 4 of *National Engineering Handbook*, Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.

17. Subyani, A. and Bayumi, T. (2001). Physiographical and Hydrological Analysis of Yalamlam Basin, Makkah Al-Mukarramah Area, JKAU: Earth Sci., Vol. 13, pp. 151-177. Jeddah, Saudi Arabia.
18. U.S. Army Corps of Engineers, (1972). Program Description and User's Manual for SSARR Model Streamflow Synthesisi and Reservoir Regulation. Program 724-K5G0010.

* * *

الإصدارات السابقة لسلسلة البحوث الجغرافية

1. Dental Conditions of the Population of Maadi Culture as Affected by the Environment. (In English) by "F. Hassan et al." (1996).
2. هضبة الأهرام: أشكالها الأرضية ومشكلاتها، أ.د. سمير سامى، 1997.
3. القرى المدمرة فى فلسطين حتى عام 1952، أ.د. يوسف أبو مائلة وآخرون، 1998.
4. جيومورفولوجية منطقة توشكى وإمكانات التنمية، أ.د. جودة فتحي التركمانى، 1999.
5. موارد الثروة المعدنية وإمكانات التنمية فى مصر، د. أحمد عاطف دردير، 2001.
6. صورة الأرض فى الريف، د. محمد أبو العلا محمد، 2001.
7. القاهرة: الأرض والإنسان، أ.د. سمير سامى محمود، 2003.
8. الماء والأفلاج والمجتمعات العمانية، د. طه عبد العليم، 2004.
9. المناطق الخضراء فى القاهرة الكبرى، د. أحمد السيد الزاملى، 2005.
10. التنمية السياحية بمدينة الغردقة وأثرها السلبى على البيئة، د. ماجدة محمد أحمد، 2005.
11. بين الخرائط التقليدية وخرائط الاستشعار عن بعد، د. هناء نظير على، 2006.
12. الواقع الجغرافى لمدينة سيوة، د. عمر محمد علي، 2006.
13. صادرات الموالح المصرية إلى السوق العربية الخليجية، أ.د. إبراهيم على غانم، 2006.
14. الجغرافيا الاقتصادية فى ضوء المتغيرات العالمية المعاصرة، أ.د. محمد محمود إبراهيم الديب، 2006.
15. الأبعاد الجغرافية للسياحة العلاجية فى مصر، د. فاطمة محمد أحمد، 2006.
16. تحليل جغرافى لحركة النقل على مداخل مدينة المحلة الكبرى، د. عبد المعطى شاهين، 2007.
17. المقومات الجغرافية للتنمية السياحية فى محافظة الوادى الجديد، د. المتولى السعيد، 2007.
18. الهجرة العربية الدائمة إلى الولايات المتحدة الأمريكية من 1980 إلى 2004، د. أشرف على عبده، 2007.
19. مياه الشرب فى مدينة الجيزة، د. فاطمة محمد أحمد عبد الصمد، 2007.
20. الجيوب الريفية المحتواة فى التجمعات الحضرية المخططة بمدينة الجيزة، د. أشرف على عبده، 2007.
21. الأبعاد الجيومورفولوجية لانتخابات مجلس الشعب المصرى عام 2005، د. سامح عبد الوهاب، 2008.
22. الأوقاف الخيرية فى مصر، أ.د. صلاح عبد الجابر عيسى، 2009.
23. صناعة السيارات فى مصر، أ.د. محمد محمود إبراهيم الديب، 2009.
24. المناخ والملابس فى مدينة الرياض، د. هدى بنت عبد الله عيسى العباد، 2009.
25. قضايا الطاقة فى مصر، أ.د. محمد محمود إبراهيم الديب، 2009.
26. الثروة المعدنية فى محافظة المنيا، د. أحمد موسى محمود خليل، 2009.
27. التباينات اليومية لدرجة الحرارة بمدينة مكة المكرمة. د. مسعد سلامة مسعد مندور، 2009.
28. التحليل الجغرافى لدلالة أسماء المحلات العمرانية بمنطقتي عسير وجيزان، د. إسماعيل يوسف إسماعيل، 2009.

29. تحليل جغرافي لمنطقتين عشوائيتين في مدينة جدة، د. أسامة بن رشاد جستية و أ. مشاعل بنت سعد المالكي، 2009.
30. الفقر في غرب إفريقيا، د. ماجدة إبراهيم عامر، 2010.
31. بعض ملامح التنمية العمرانية في محافظة المجمعة (السعودية)، د. علاء الدين عبد الخالق علوان، 2010.
32. تنمية السياحة البيئية والأثرية بمنطقة حائل، د. عواطف بنت الشريف شجاع علي الحارث، 2010.
33. سكان سلطنة عُمان، د. جمال محمد السيد هنداوى، 2010.
34. التجديد العمراني للنواة القديمة بالمنصورة، د. مجدى شفيق السيد صقر، 2011.
35. تغير المعطيات المكانية وأثرها في التنمية السياحية بقرية البهنسا في محافظة المنيا، د. ماجدة محمد أحمد جمعة، 2011.
36. الاتجاهات الحديثة في جغرافية الصناعة، أ.د. إبراهيم على غانم، 2011.
37. المعايير التخطيطية للخدمات بالمملكة العربية السعودية، د. نزهه يقظان الجابري، 2011.
38. تداخل المياه البحرية والجوفية بشمال الدلتا بين فرعي دمياط ورشيد، د. أحمد إبراهيم محمد صابر، 2011.
39. أحجار الزينة في المملكة العربية السعودية، د. شريفة معيض دليم القحطاني، 2011.
40. التنوع الحيوى بإقليم الجبل الأخضر بالجمهورية العربية الليبية، د. عادل معتمد عبد الحميد، 2011.
41. التحليل المكاني للتغيرات العمرانية واتجاهاتها الحالية والمستقبلية في المدينة المنورة للفترة من (1369-1450هـ) الموافق (1950-2028م)، د. عمر محمد على محمد، 2011.
42. المراوح الفيضية وأثرها على طريق فقط - القصير، د. محمد عبد الحليم حلمي عبد الفتاح، 2012.
43. أطالس فرنسية : عرض وتحليل، د. عاطف حافظ سلامة، 2012.
44. التنوع المكاني لأنماط النمو الريفي في المنطقة الغربية للمملكة العربية السعودية، د. محمد عبد الحميد مشخص، 2012.
45. الحافة الحضرية لمدينة المحلة الكبرى : رؤية جغرافية، د. أحمد محمد أبو زيد، 2012.
46. الخصائص المكانية والخدمية للمجمعات التجارية، د. عبدالله براك الحربي، 2012.
47. أخطار التجوية الملحية على المباني الأثرية بمدينة القاهرة، د. أحمد إبراهيم محمد صابر، 2012.

* * *