البحوث والدراسات

تقدير تدفق الذروة للسيول بحوض وادي عُرنة "المملكة العربية السعودية"

أ. د. محمد فضيل بوروبة

ملخص:

أهداف الدراسة: هدفت هذه الدراسة إلى تقدير تدفق الذروة للسيول في أحواض روافد وادي عرنة بمنطقة مكة المكرمة بتطبيق نموذج SCS Dimensionless Unit Hydrography، الذي يعتمد على كميات الأمطار المناسبة لفترات الرجوع من ٥ إلى ١٠٠ سنة والمتغيرات التضاريسية والمورفومترية لمجموع ٣٦ حوضاً رافداً لوادي عرنة تراوح مساحتها بين ٨,٧٥ كلم^{٢} في حوض الرافد (٣٣) و١٩٦,٢١ كلم^{٢} في حوض الرافد (١٧) من مخرجات المعالجة الرقمية لبرنامج WMS باستخدام صور الأقمار الصناعية المتاحة على موقع Google Earth ونموذج الارتفاع الرقمي ASTER من ناحية. كما تسعى هذه الدراسة من ناحية أخرى إلى تصنيف أحواض الروافد اعتماداً على متوسط تدفق الذروة المحتمل لفترات الرجوع ٥ و ١٠ و٢٥ و٥٠ و١٠٠ سنة.

منهجية الدراسة: اعتمدت منهجية هذه الدراسة على تطبيق نموذجي التوزيع الاحتمالي للقيم القصوى: نوع EV-1- Distribution والتوزيع الاحتمالي الطبيعي Normal Distribution في التحليل التكراري لكميات الأمطار اليومية القصوى باستخدام البيانات المطرية لخمس محطات مطرية تابعة لوزارة البيئة والمياه والزراعة. كما اعتمد تقدير تدفق الذروة لسيول أحواض الروافد المدروسة على تقدير حجم الأمطار اليومية القصوى وحساب زمن التركيز وتقدير زمن الذروة للتدفق الأقصى.

بيانات الدراسة: اعتمدت هذه الدراسة على برنامج ERDAS 9.3 الخاص بمعالجات صور الأقمار الصناعية بشكل أساسي لمعالجة وتحليل صور الأقمار الصناعية، البالغ

- تم تسلم البحث في ٢٠١٦/٨/١٤، عُدِّل في ٢٠١٧/٧/٣، أجيز للنشر في ٢٠١٧/٧/١٣.

عددها ١٢ صورة (Scenes) لمنطقة الدراسة بمكة المكرمة، بالإضافة إلى نماذج الارتفاعات الرقمية للقمر الصناعي الياباني الأمريكي العلمي المشترك (ASTER GDEM)، بوضوح مكاني مقداره ٣٠م في تحديد مساحة التصريف لحوض وادي عرنة. واستخدم برنامج (WMS) (Watershed Modeling System) لمعالجة نماذج الارتفاعات الرقمية وإجراء حسابات المتغيرات المورفومترية والهيدرولوجية. كما اعتمد تقدير تدفق الذروة لسيول أحواض الروافد المدروسة على بيانات الأمطار اليومية القصوى المسجلة في محطات الطائف (TA206)، والشفا (TA109)، وبحرة الجديدة (J102)، ومنتصف الهدى (J205)، والفرين (J113)، ووادي محرم (TA106)، التابعة لوزارة البيئة والمياه والزراعة.

نتائج الدراسة: أظهرت نتائج هذه الدراسة أن أكثر أحواض الروافد قدرة على تحويل مياه الأمطار إلى مياه تدفق سيلي غزير هي الأحواض ١٧ و٢٥ و٢٧، التي تمتد على إجمالي مساحة تصريف تبلغ ٥٢٤,٦ كلم^{٢}؛ أي ما يعادل ٢٢,٩٪ من إجمالي مساحة التصريف لحوض وادي عُرنة. وتتسم هذه الأحواض بأعلى كميات لحجم الأمطار، وبمتوسط يفوق ١٣ مليون م^{٣}، وبأعلى كميات لحجم السيول، وبمتوسط يفوق ٢,٥ مليون م^{٣}، وبأعلى كميات للتدفق الأقصى للسيول، وبمتوسط تدفق يفوق ٣٤٨ م^{٣}/ ثانية لفترات الرجوع الممتدة من ٥ إلى ١٠٠ سنة.

الخاتمة: اختتمت هذه الدراسة بمجموعة من النتائج التي أفرزتها مختلف الخطوات المنهجية المطبقة ومختلف نتائج تقدير تدفق الذروة للسيول، بمجموع ٣٦ حوضاً رافداً لوادي عرنة باستخدام نموذج SCS dimensionless Unit Hydrography.

المصطلحات العلمية: الأمطار اليومية القصوى، التحليل التكراري، حوض رافد، نموذج SCS DUH، تدفق الذروة للسيول، حوض وادي عرنة، المملكة العربية السعودية.

مقدمة:

يعتبر الماء عنصر الحياة على كوكب الأرض مصداقاً لقوله تعالى: ﴿وَجَعَلْنَا مِنَ ٱلْمَآءِ كُلَّ شَىْءٍ حَىٍّ﴾. لذا يتزايد الاهتمام بمصادر المياه في المملكة العربية السعودية كونها بلداً صحراوي المناخ، أصبح الحصول فيه على المصادر المائية من أهم المشكلات البيئية التي تواجه التنمية الاقتصادية

والاجتماعية. وتزداد هذه المشكلة تعقيداً بسبب محدودية المصادر المائية الطبيعية وشدة جفاف المناخ، التي أدت إلى انخفاض المتوسط السنوي لسقوط الأمطار إلى ٢٩٠ ملم (رفاعي، ٢٠٠٦). بالإضافة إلى ذلك يشكل عدم انتظام تساقط الأمطار أو شدة تساقطها أثناء العواصف معضلة من أهم المشاكل البيئية.

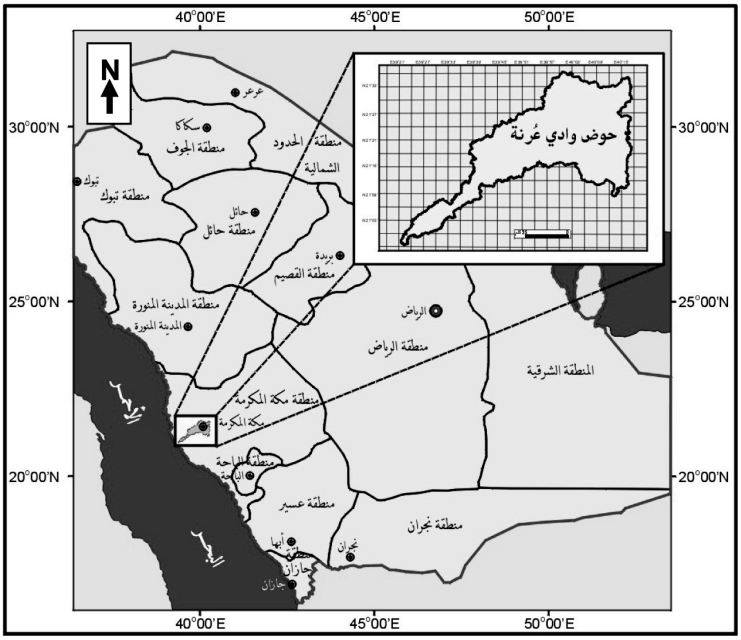
وقد تزايد اهتمام الباحثين والمسؤولين بدراسة ظاهرة السيول خاصة بعد سيول مدينة جدة التي حدثت في يوم الأربعاء ٢٥ نوفمبر ٢٠٠٩، وأدت إلى مصرع ١١٦ شخصاً وأكثر من ٣٥٠ شخصاً اعتبروا في عداد المفقودين، وجرف أكثر من ٣٠٠٠ سيارة. وقد بدأ هطول الأمطار في يوم الأربعاء ٢٥ نوفمبر، واستمر في يوم الخميس ٢٦ نوفمبر لمدة أربع ساعات؛ حيث بلغ معدل كمية مياه الأمطار نحو ٩٠ ملم، وهو ضعف معدل سقوط الأمطار في سنة كاملة. وكذا سيول عام ١٤٣٢هـ؛ حيث وصل عدد الوفيات إلى ١١٧ شخصاً. وقدرت الخسائر المادية بحوالي ٢,٨ مليار ريال سعودي كما ذكرته جريدة الجزيرة بتاريخ ١٤٣٠/١٢/٢١هـ، كما أدى سيل مكة المكرمة الذي حدث يوم ٢٠٠٩/١١/٢٥ م إلى وفاة ٤٨ شخصاً مع إنقاذ نحو ٩٠٠ شخص. كما حدث سيل آخر في يوم ٢٠٠٥/١/٢٥ م بالمدينة المنورة منع الحجاج من دخول المدينة عن طريق الهجرة (طريق المدينة – مكة) الواقع على مجرى وادي العقيق، وأدى إلى وفاة ٢٩ إنساناً وخسائر تقدر بنحو ٥٠٠ مليون ريال.

١ – منطقة الدراسة:

يقع حوض وادي عُرنة بين خطي الطول "٣٢,١ ′٧٠ °٣٩" شرقاً، وبين دائرتي العرض و "٠٨,٥ ′٥٧ °٢٠" و "٣٦٩,٢٦ ′ °٢١" شمالاً (الشكل١). وهو الوادي الذي ذكره الرسول – صلى الله عليه وسلم – في الحديث الشريف "**عرفة كلها موقف إلا بطن عُرنة**"، وأوضح الفقهاء أن بعض مسجد نمرة ليس من عرفة، بل هو من بطن عُرنة (البلادي، ١٩٨٤).

وعُرنة هو وادي فحل من أودية مكة المكرمة ذو روافد متعددة، ينبع أعلى مساقط مياهه من الثنية، وهي فرز يقع بين جبال الهدأة وجبال طاد والتنضب، ويسيل ماؤها الشرقي إلى روافد نخلة اليمانية والغربي إلى صدر عُرنة، ويسمى

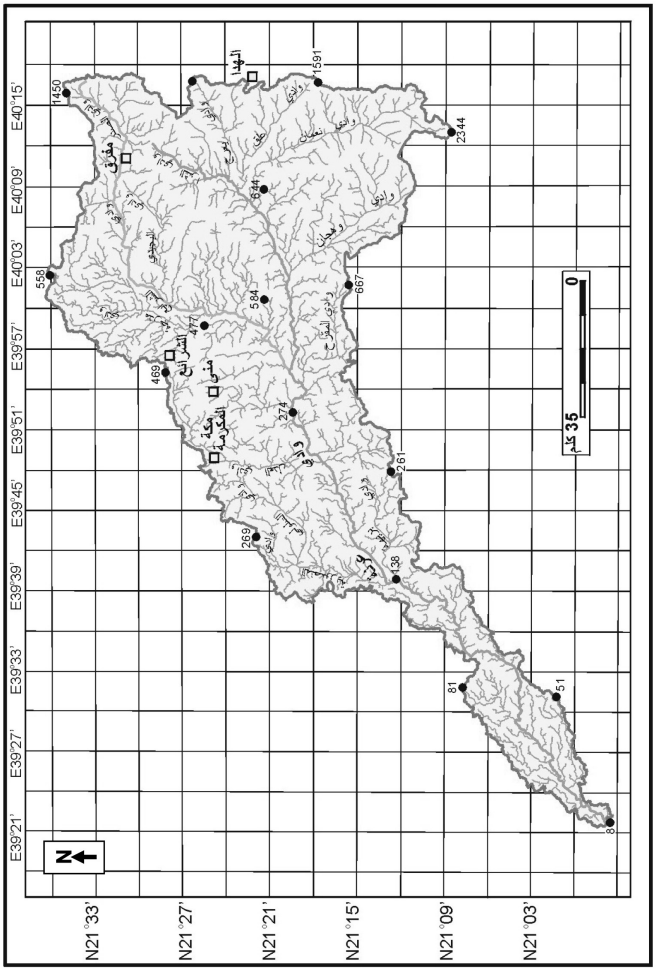
صدر عُرنة بوادي الصدر (البلادي، ١٩٨٤). وينحدر وادي عُرنة بين جبلي لبن ومسعود جنوباً وشمالاً على التوالي، بينما تنحدر بقية الأودية والروافد التي تصب فيه (وادي إبراهيم والنعمان والبجيدي والصدر والشرايع ويعرج وعرعر والخرار وملكان والسلولي وأم هشيم ومحسر واللاحجة) من سفوح جبال مكة المكرمة، مثل جبل النجواة، وأم السلم، وفخ، وأبو صافية، والوديعة، والضباع، والنور، وريع أذاخر، والطارقي، وثبير خندمة، وكدي، والأخشبين، والمريخية وثور، إلى أن تصب في البحر جنوب مصب وادي مر الظهران (مرزا والبارودي، ٢٠٠٥).



الشكل (١) – الموقع الجغرافي لحوض وادي عُرنة

ويعتبر حوض وادي منى أحد روافد وادي عُرنة. ويمتد حوض وادي عُرنة بشكل طولي من الشرق إلى الغرب على مساحة تصريف تبلغ ٢٢٩٥ كم^{٢}، وعلى ارتفاع يبلغ أقصاه ٢٤٦١ متراً بالأحواض العليا و٧م عند مصبه بالقرب من ساحل البحر الأحمر. ويبلغ طول خط تقسيم المياه لحوض وادي عُرنة (المحيط) ٥٣٨١ كم،

بطول يبلغ ١١٧ كم، بينما يبلغ طول مجراه الرئيسي ١٦٦ كم، ويتسم نظام حوض تصريف وادي عُرنة بنمط تصريف شجري وبنظام تصريف خارجي لأنه يصب في مياه البحر الأحمر (الشكل ٢). وتتباين نسبة الانحدار الطوبوغرافي لحوض وادي عُرنة بحيث تفوق ٣٥٪ عند السفوح العليا، بينما لا تتعدى ٥٪ عند السفوح السفلى على طول المجرى الرئيس حتى مصب حوض وادي عُرنة.



الشكل (٢) – الشبكة المائية لحوض وادي عُرنة

٢ – جيولوجية حوض وادي عُرنة:

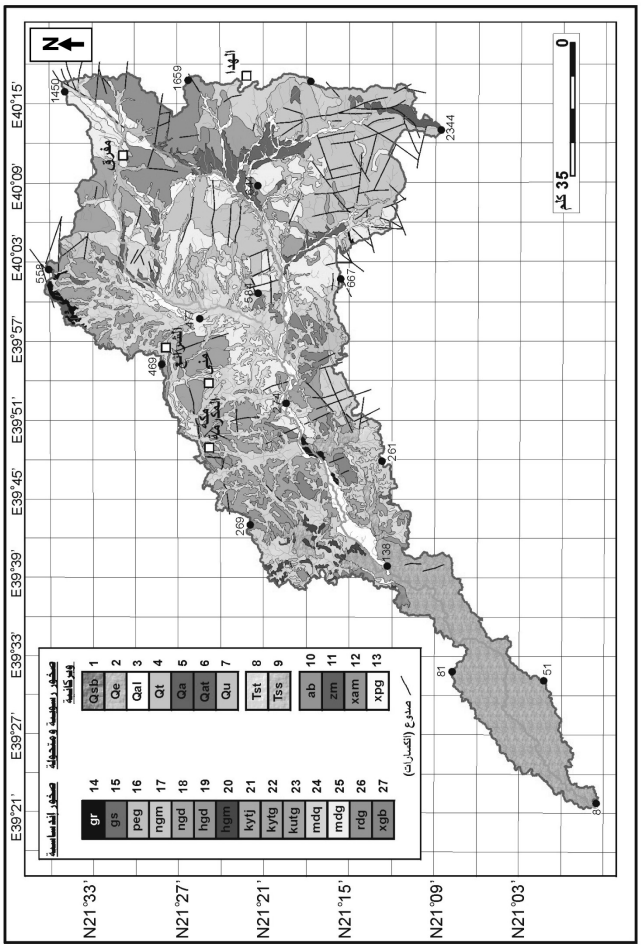
تعتبر مساحة التصريف لحوض وادي عرنة جزءاً من تضاريس الدرع العربي. وتنكشف في حوض وادي عرنة معقدات نارية، من مثل معقد نُعمان وجُعرانة ومِلح والشارقة، وتكوينات ما قبل الكمبري المتطبقة التي تشكلت نتيجة تحول الصخور البركانية والفتاتية (Moore and Rehaili,1989). وتتنوع تراكيب الصخور البركانية والفتاتية النارية من البازلت إلى الرايولايت، بالإضافة إلى بعض رسوبيات الزمن الرباعي والرسوبيات الحديثة أيضاً. وتتلخص خصائص التكوينات الصخرية لحوض وادي عُرنة في ما يأتي:

١ – رسوبيات الزمن الرباعي Quaternary deposits:

تغطي الرسوبيات الرباعية والحديثة مجاري الوادي الرئيس والروافد، وهي تتنوع إلى رواسب المنحدرات (Talus deposits) المتجمعة في الأجزاء السفلية من المنكشفات الصخرية، وتتشكل من صخرية متكسرة ورواسب الأودية من حصى وطين متوضعة على أرضية من الرمل الخشن والناعم. ويختلف حجم حبيبات هذه الرواسب من خشنة في أعالي الأودية إلى حبيبات دقيقة وناعمة في أسفل الأودية وفي الرسوبيات المروحية والكثبان الرملية. وتتلخص تكوينات الزمن الرابع بحوض وادي عُرنة في ما يأتي: (الشكل ٣) و(الشكل ٤)

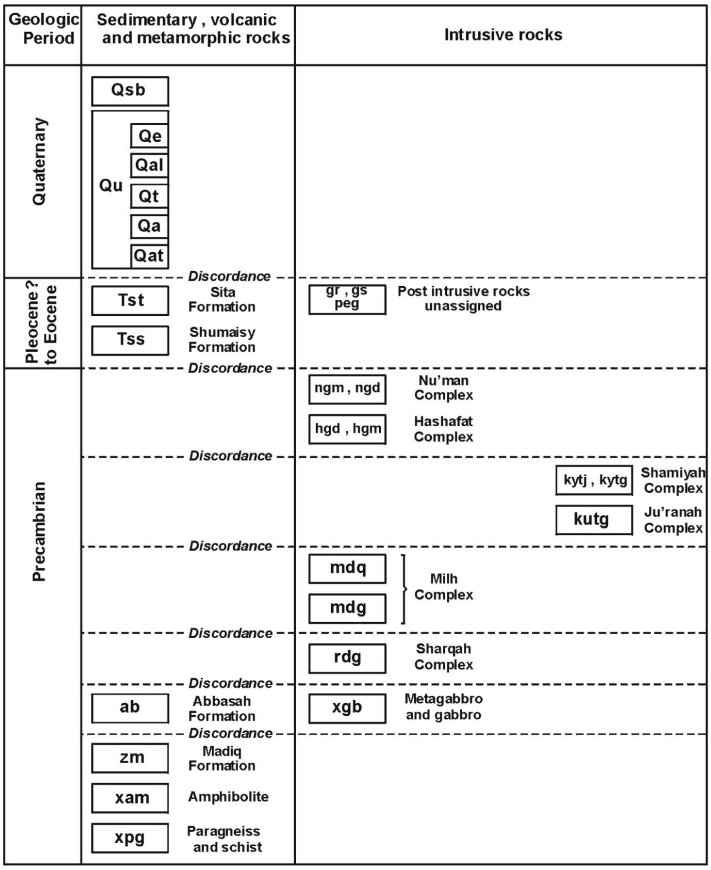
١ – رسوبيات السبخات Qsb.
٢ – رسوبيات طمية وريحية ورسوبيات المنحدرات Qu.
٣ – رمال ريحية Qe.
٤ – رسوبيات الأودية (رمل وحصى) Qal.
٥ – رسوبيات المنحدرات Qt.
٦ – رسوبيات المراوح الطمية غير متراصة (رمل وحصى) Qa.
٧ – رسوبيات المراوح الطمية متراصة (رمل وحصى) Qat.

وتتوضع تكوينات الزمن الرابع بعدم توافق فوق تكوينات الزمن الثالث.



١: رسوبات السبخات (طين وغرين وأملاح)، ٢: رمال ريحية، ٣: رسوبات الأودية (رمال وحصى)، ٤: رسوبات التلاع، ٥: رسوبات المراوح الفيضية (رمال وحصى)، ٦: رسوبات المصاطب (رمال وحصى)، ٧: خليط من الرسوبات الفيضية والريحية ورسوبات الأودية، ٨: تكوين سيتة، ٩: تكوين الشميسي، ١٠: تكوين عباسة، ١١: تكوين مضيق، ١٢: أمفيبولايت، ١٣: شبه غنايز وشيست، ١٤–١٥–١٦: صخور اندساسية حديثة، ١٧–١٨: معقد نعمان، ١٩–٢٠: معقد حشفات، ٢١–٢٢: معقد الشامية، ٢٣: معقد جُعرانة، ٢٤–٢٥: معقد مِلح، ٢٦: معقد الشارقة، ٢٧: ميتاجابرو وجابرو.

الشكل (٣) – التكوينات الجيولوجية لحوض وادي عُرنة



الشكل (٤) – السلم الستراتيغرافي لحوض وادي عُرنة

٢ – تكوينات الزمن الثالث:

وهي صخور تكوين سيته Tst، الذي يتشكل من التوف tuff والبازالت القلوي وشبه القلوي، والطفل الصفائحي والحجر الجيري، وتكوين الشميسي Tss، الذي يتشكل أساساً من حجر رمل محصب وحجر حديدي وحجر غريني والتوف. وتنتمي صخور تكويني سيتا والشميسي إلى أواخر الباليوسين وبداية الأيوسين، وهي تتوضع بعدم توافق فوق تكوينات ما قبل الكمبري. بالإضافة إلى ذلك تنسب الصخور الاندساسية الحديثة إلى الزمن الثالث (gr, gs, peg).

٣ – صخور القاعدة (صخور المعقدات ما قبل الكمبرية):

وهي تتكون من ٦ معقدات جيولوجية، يتوضع بعضها فوق بعض، بعدم توافق، وتترتب من الأحدث إلى الأقدم على النحو الآتي:

٣–١– مركب نُعمان.

٣–٢– مركب حشفات.

وهما يتوضعان بعدم توافق فوق:

٣–٣– مركب شامية.

٣–٤– مركب جُعرانة.

وهما يتوضعان بدورهما بعدم توافق فوق مركب مِلح.

٣–٥– مركب مِلح الذي يتوضع بعدم توافق فوق مركب الشارقة.

٣–٦– مركب الشارقة الذي يتوضع بعدم توافق فوق تكوين عباسة.

وتنكشف صخور القاعدة على جانبي الوادي على شكل متداخلات جوفية، وهي تتبع زمنيا لحقب ما قبل الكمبري، مقارنة بالعمر النسبي لمجموعة كامِل. وتتمثل هذه المتداخلات الجوفية في مركبي جُعرانة والشامية. فكل متداخل منها تقطعه أي وحدة من مجموعة كامِل يصنف بما قبل مجموعة كامِل (Pre-Kamil Suite)، وتشمل مركبات ما قبل مجموعة كامِل كلاً من مركبات الشارقة وخسر ومِلح. أما بقية المركبات التي توجد قاطعة لمجموعة كامِل فصنفت بمركبات ما بعد مجموعة كامِل (Post-Kamil Suite).

ويمكن تصنيف صخور هذه المركبات على النحو الآتي:

- صخور الجابرو والجرانيت وجرانوديورايت والمونزوجرانيت، تتغطى أجزاء كبيرة منها بالرسوبيات الحديثة والكثبان الرملية، خاصة في المجاري.
- صخور المونزوجرانيت، وهي أكثر انتشاراً من صخور الجرانيت والجرانوديورايت والجابرو. وتحتفظ صخور الجابرو في بعض المواقع بنسيجها الناري الكتلي والألوفيتي (متوسط إلى خشن النسيج).و يظهر في معظم الأحيان فيها التطبق المتناغم نتيجة عمليات التحول التي تعرضت لها. ويتفاوت لونها في العينات اليدوية من اللون الأخضر

مزرق داكن إلى أخضر داكن. لم تسم هذه الصخور ولم تنسب إلى أي من المركبات في الدراسات الجيولوجية.

- صخور الجرانيت، وهي من المتداخلات ما بعد عمليات التجبل وهي غير محددة العمر. وتظهر هذه الصخور قاطعة لصخور الديورايت والكوارتز ديورايت وتأخذ لوناً ورمادياً يميل إلى البني. وتعدّ هذه الصخور من التداخلات النارية التي صاحبت العمليات التجبيلية في مراحلها الأخيرة؛ لذلك نجدها قاطعة لمركبات مِلح والشارقة وجُعرانه. وتظهر صخور مركب نُعمان تتكون من بايوتايت مونزو جرانيت ذي لون قرمزي فاتح وخشن الحبيبات.

ويطلق مسمى مركب جُعرانة على صخور مجموعة كامِل، وهي صخور التونالايت التي تحولت إلى جرانوديورايت، وتتكون أساساً من هورنبلند تونالايت وتونالايت وتتدرج إلى أن تصير جرانوديورايت. وتعتبر صور مركب جُعرانة من صخور مجموعة كامِل (Kamil Suite) ومنها الهورنبلند تونالايت وهو الأكثر انتشاراً من الأنواع الأخرى من الصخور، ويتكون من بلاجيوكليز وكوارتز وهورنبلند وكميات أقل من الفلسبار البوتاسي والبايوتايت والإبيدوت والكلورايت والإسفين والأباتايت وأكاسيد الحديد.

وتتوضع صخور المركبات بعدم توافق على صخور تكوين عباسة الذي يتوضع بدوره بعدم توافق فوق تكوين مديق.

٤ – تكوين عباسة الذي يتوضع بعدم توافق فوق تكوين مديق.

٣ – الدراسات السابقة:

من الدراسات التي اهتمت بدراسة السيول في المملكة العربية السعودية:

– دراسة البارودي في عام ١٩٨٦ بعنوان: "الميزانية المائية لحوض وادي فاطمة" التي حدد فيها العوامل المتحكمة في الجريان السطحي لهذا الحوض.

– دراسات Bokhari في عامي ١٩٨٨ و١٩٩١؛ لتعرّف شبكات تصريف الأودية للمدينة المنورة باستخدام الصور الجوية، وطرق الاستشعار عن بعد.

– دراسة البليهد في عام ١٩٩٢، بعنوان: "دراسة الجريان السيلي في

أودية إقليم عسير الرئيسية " التي توصل من خلالها إلى تقدير حجم الجريان السطحي السنوي لفترات السيول بأحواض التصريف لأودية نجران وتثليث وبيشة ورنية للقسم الشرقي لهضبة عسير ولأودية ضمد وبيش وعتود وحلي في القسم الغربي لمرتفعات عسير الجبلية.

– دراسة الجراش في عام ١٩٨٢ بعنوان: "دراسة العلاقة بين الأمطار والسيول في جنوبي غربي المملكة العربية السعودية – دراسة تطبيقية على حوض وادي بيشة وحوض وادي بيش". وقد توصل الباحث إلى حساب كمية الأمطار على حوض الواديين بتطبيق طريقة المضلعات التي وضعها ثيسن Thiessen.

– دراسة Al-Harbi et al. في عام ١٩٩٧، لجيوفيزيائية وهيدروجيولوجية شمال غرب المدينة المنورة، وهي مشروع بحثي مدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية رقم (أت–١٥–٥). وتشتمل هذه الدراسة على جوانب جيوفيزيائية وهيدرولوجية وهيدروجيولوجية لوادي ملل، الواقعة في شمال غرب المدينة المنورة، وهو أحد روافد وادي حمض، وكان من أهم أهدافها تقييم كميات ونوعية المياه في منطقة الدراسة.

– دراسة Sorman في عام 1993a بعنوان:

"New Trends in Stochastic Modeling for Hydrologic Data Analysis"

التي تناول فيها تحليل البيانات الهيدرولوجية للتصريف السطحي، بواسطة النمذجة الرياضية لبيانات الأمطار والتدفق بحوض وادي جازان.

– دراسة Sorman في عام 1993b، بعنوان:

"Application of the TR-55 Model to storms in Arid climate, case study: Upper Tabbalah, The kingdom of Saudi Arabia"

وتناول فيها حساب البيانات الهيدرولوجية للتصريف السطحي بواسطة النموج الرياضي Technical Release 55 (TR-55) بحوض وادي تبالة.

– دراسة Sorman في عام ١٩٩٤، بعنوان:

"Estimation of flood peaks using remote sensing techniques; case study: Wadi Itwad, southwestern Saudi Arabia"

التي تناول فيها تقدير تدفق الذروة للسيول باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد بحوض وادي عتود في الجنوب الغربي من المملكة العربية السعودية.

– دراسة عبد الرزاق في عام ١٩٩٥، وهي بحث بعنوان "تقييم كميات السيول وآثارها في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة العربية السعودية"، التي شملت تقييم واختبار الطرق الإحصائية المناسبة لحساب كميات السيول وتكرارها باستخدام المعلومات الهيدرولوجية المتوافرة من شبكة الرصد المنتشرة في منطقة الدراسة.

– دراسة بوروبة في عام ٢٠٠٢، بعنوان: "الخصائص المورفومترية لحوضي وادي عركان ووادي يخرف رافدي وادي بيش بالمملكة العربية السعودية: دراسة تطبيقية مقارنة". وأبرزت هذه الدراسة عدة تباينات مكانية مهمة لنظام الجريان السطحي، ولمرحلة التعرية الحالية، كما يعكسه على التوالي الترتيب الهرمي للمجاري والمعامل الهيبسومتري اللذين أظهرا إمكانيات وضوابط كل حوض في تحويل مياه الأمطار إلى مياه جارية سطحية، يمكن الاستفادة منها في شتى المجالات.

– رسالة الماجستير التي تقدم بها بامفلح في عام ٢٠٠٢، "الاستخلاص التلقائي للأحواض والمجاري المائية لبعض الأودية في منطقة مكة المكرمة".

– دراسة آل سعود وآخرين في عام ٢٠٠٤، لمخاطر السيول في وادي ضلع بالمنطقة الجنوبية الغربية للمملكة العربية السعودية باستخدام صور الأقمار الصناعية لتطبيق نموذج محاكاة متقدم للتحليل الهيدرولوجي.

– دراسة الجعيدي في عام ٢٠٠٥، بعنوان: "استخدام صور الاستشعار عن بعد الرقمية عالية الوضوح المكاني لتحديد امتداد فيضانات السيول في سهل الخرج"، حيث تم توضيح امتداد الفيضان وتحديده والمناطق المعرضة للغمر بالمياه في خريطة موضوعية من خلال تطبيق أسلوب التصنيف المراقب.

– رسالة الماجستير التي تقدم بها الأحمدي في عام ٢٠٠٥، بعنوان: "نمذجة السيول في المناطق الجافة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد – دراسة حالة للمنطقة الجنوبية الغربية". وتهدف الدراسة

إلى نمذجة السيول، وذلك بتطبيق نماذج رياضية واختبار مدى ملاءمتها للمناطق الجافة وشبه الجافة في المملكة.

– دراسة البارودي ومرزا في عام ٢٠٠٥، بعنوان "السمات المورفولوجية والخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لأودية الحرم المكي" التي تناولت دراسة الأمطار والسيول بالمشاعر المقدسة.

– دراسة الأحمدي في عام ٢٠٠٦، بعنوان: "استخلاص المعلومات الهيدرولوجية اللازمة لتصميم السدود بطرق آلية – مراجعة للتقنيات الحديثة". وتوصل الباحث إلى أن التصميم الأمثل للسدود يتم من خلال رصد لكميات السيول السنوية التي تسير في الأودية، مع توافر بيانات حقلية دقيقة عن تدفقات السيول في المنطقة.

– الدراسة التي تقدم بها كل من بوروبة والجعيدي في عام ٢٠٠٦، بعنوان: "تقدير تدفق الذروة للسيول بحوض وادي العين بمحافظة الخرج باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد".

– دراسة بوروبة في ٢٠٠٧، بعنوان: "دراسة هيدرومورفومترية لتقدير حجم سيول حوض وادي عتود بالمملكة العربية السعودية" التي تم من خلالها تقدير حجم السيول وتدفق الذروة الأقصى والمتوسط والأدنى لأحواض أودية عتود الأعلى ومربا وضلع بتطبيق نموذج سنايدر Snyder.

– رسالة الماجستير التي تقدمت بها الزهراني في عام ٢٠٠٧، بعنوان "مخاطر السيول على سلامة الحجاج بمشعر منى– مكة المكرمة".

– دراسة الجعيدي في عام ٢٠٠٨، بعنوان "الخصائص الهيدروموفومترية وخصائص السيول في أحواض السدود المقترحة على أودية علية في محافظة الخرج". وقد تناولت هذه الدراسة التحليل التكراري للأمطار، والتحليل المورفومتري، وخصائص السيول للأحواض المغذية للسدود بمحافظة الخرج.

– دراسة الزهراني وآخرين في عام ٢٠٠٨، بعنوان: "مخاطر الفيضانات المحتملة في مناطق السهل الفيضي لوادي قنونة جنوب غرب المملكة العربية

السعودية" التي تقدم بها في ندوة إدارة الكوارث وسلامة المباني في الدول العربية التي نظمتها وزارة الشؤون القروية والبلدية بمدينة الرياض.

٤ – أهداف الدراسة:

تهدف هذه الدراسة إلى:

١ – تحديد المتغيرات التضاريسية والمورفومترية على مستوى أحواض الروافد المغذية لوادي عُرنة، باستخدام مخرجات صور الأقمار الصناعية ونموذج الارتفاعات الرقمية.

٢ – تقدير تكرارية حدوث الأمطار اليومية القصوى وحساب كميات الأمطار المناسبة لفترات الرجوع من ٥ إلى ١٠٠ سنة في حوض وادي عُرنة.

٣ – تقدير تدفق الذروة للسيول بأحواض الروافد بتطبيق نموذج SCS dimensionless Unit Hydrograph.

٤ – تصنيف أحواض الروافد اعتماداً على متوسط تدفق الذروة المحتمل لفترات الرجوع ٥ و١٠ و٢٥ و٥٠ و١٠٠ سنة.

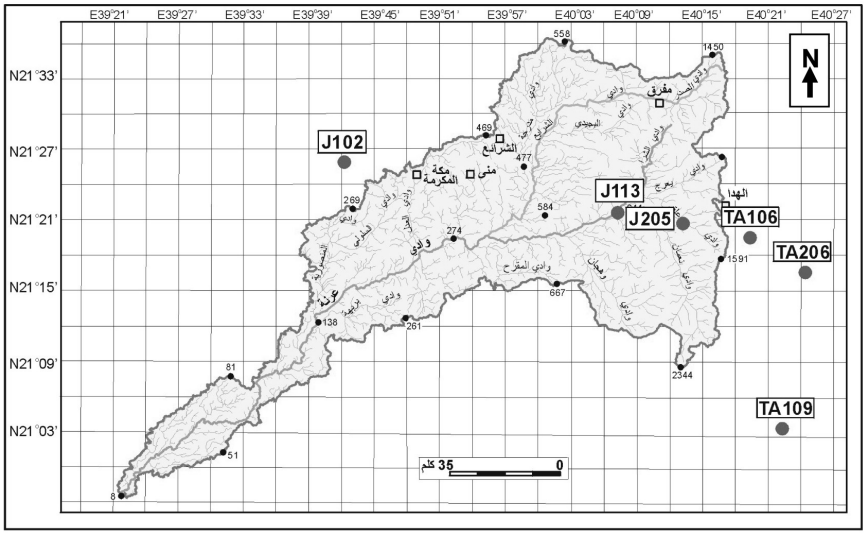
٥ – منهجية الدراسة:

تعتمد هذه الدراسة على نتائج التحليل التكراري لكميات الأمطار اليومية القصوى المسجلة بخمس محطات هي: (الجدول ١) و(الشكل ٥).

الجدول (١)

إحداثيات مواقع محطات قياس الأمطار بحوض وادي عُرنة

المحطة	الرمز	درجة الطول	درجة العرض	الارتفاع	السنوات
الفرين	J113	٤٠° ٠٧'	٢١° ٢٢'	٥٢٠	١٩٦٦–٢٠٠٥
منتصف الهدى	J205	٤٠° ١٣'	٢١° ٢١'	٩١٠	١٩٦٦–٢٠٠٥
حرة الجديدة	J102	٣٩° ٤٢'	٢١° ٢٦'	١٦١	١٩٦٦–٢٠٠٦
وادي محرم	TA106	٤٠° ١٩'	٢١° ٢٠'	١٨٧٠	١٩٦٦–٢٠٠٢
الشفا	TA109	٤٠° ٢٢'	٢١° ٠٤'	٢١٣٠	١٩٦٦–٢٠٠٧
الطائف	TA206	٤٠° ٢٤'	٢١° ١٧'	١٦٨٠	١٩٦٦–٢٠٠٧



الشكل (٥) – الموقع الجغرافي لمحطات قياس الأمطار بحوض وادي عُرنة

وقد قدرت كميات الأمطار اليومية القصوى المناسبة لفترات الرجوع الممتدة من ٥ إلى ١٠٠ سنة بتطبيق نموذج Chow: (Chow, 1951)

$$xT = X' + KT\ \sigma\ X_i \qquad (1)$$

بحيث يمثل:

xT: كمية الأمطار اليومية القصوى المحسوبة (ملم).

X': متوسط كميات الأمطار اليومية القصوى للفترة المسجلة بالمحطة.

$\sigma\ X_i$: الانحراف المعياري لكميات الأمطار اليومية القصوى (ملم).

KT: معامل التكرار المناسب لفترات الرجوع المدروسة، وهو يحسب من المعادلتين التاليتين:

١ – بالنسبة للتوزيع الاحتمالي للقيم القصوى نوع EV–١

$$K_T = Z \qquad (2)$$

بحيث تمثل:

$$Z = W - \frac{2.515517 + 0.802853\ W + 0.010328\ W^2}{1 + 1.432788\ W + 0.189269\ W^2 + 0.001308\ W^3} \quad (3)$$

وبحيث يمثل:

$$W = [\ln (1/p^2)]^{0.5} \quad (4)$$

بحيث يمثل:

p = احتمالية التجاوز وهي تساوي: 1/T حيث T هي فترة الرجوع بالسنين.

٢ – بالنسبة للتوزيع الاحتمالي الطبيعي Normal distribution

$$KT = - 0.7797\ (0.5772 + \ln [\ln (T/T-1)] \quad (5)$$

بحيث يمثل:

T: فترة الرجوع بالسنين.

وقد تم حساب معامل التكرار لفترات الرجوع الممتدة من ٥ سنوات إلى ١٠٠ سنة: (الجدول ٢).

وقد أعطى تطبيق نموذج Chow كميات الأمطار اليومية القصوى المناسبة لفترات الرجوع الممتدة من ٥ إلى ١٠٠ سنة بالمحطات المدروسة: (الجدول ٥).

الجدول (٢)

قيمة معامل التكرار المناسبة لمختلف فترات الرجوع

فترة الرجوع	معامل التكرار K_T	
	التوزيع الطبيعي	التوزيع EV1
٥ سنوات	٠,٨٤١٥	٠,٧١٩٥
١٠ سنوات	١,٢٨١٧	١,٣٠٤٦
٢٥ سنة	١,٧٥١١	٢,٠٤٣٩
٥٠ سنة	٢,٠٥٤٢	٢,٥٩٢٣
١٠٠ سنة	٢,٣٢٦٨	٣,١٣٦٧

وقدرت كميات التدفق اليومي الأقصى للسيول على مستوى أحواض الروافد بتطبيق نموذج (NOHRSC, 2016). وتم تحديد ٣٦ حوضاً رافداً باستخدام برنامج WMS (الشكل ٣).

ويقدر تدفق السيول للأودية بهذا النموذج باتباع الخطوات المنهجية الآتية:

١ – تقدير حجم الأمطار اليومية القصوى:

يقدر حجم كميات الأمطار اليومية القصوى بتطبيق المعادلة الآتية:

$$V_p = A\ H \qquad (6)$$

بحيث يمثل:

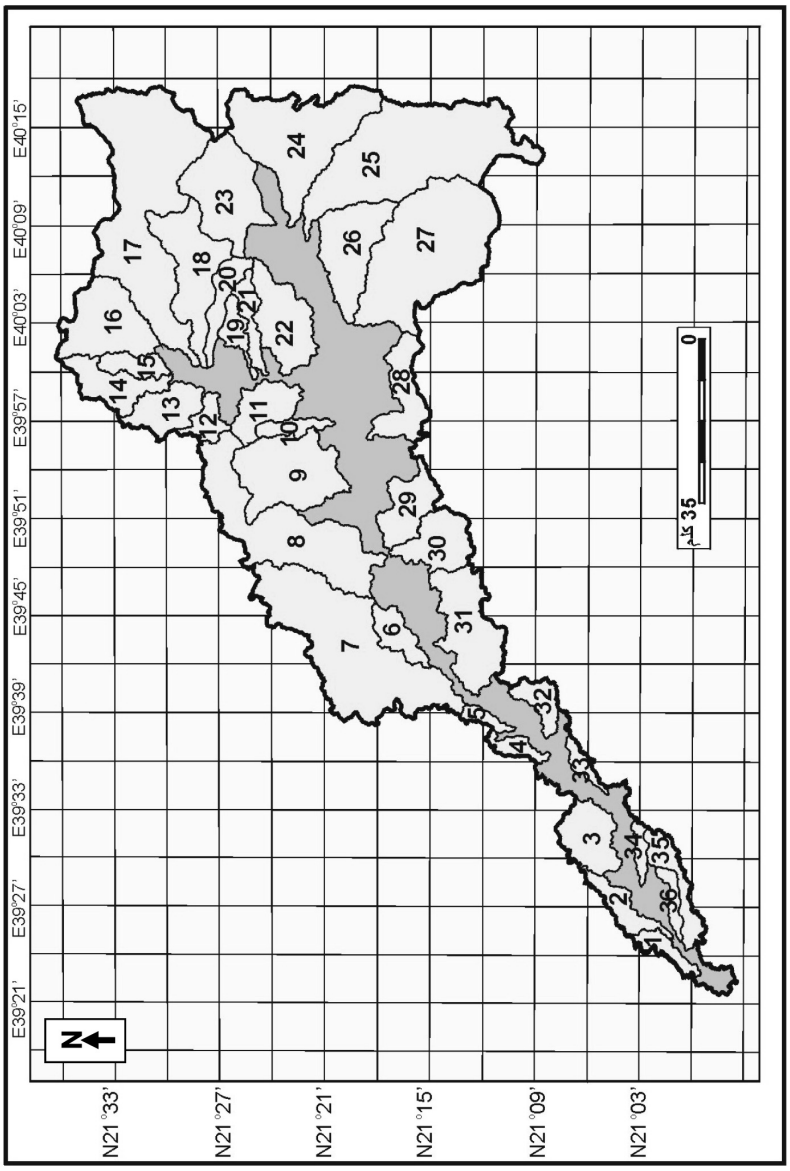
V_p: حجم كمية الأمطار اليومية القصوى (م^3).

H: كمية الأمطار اليومية القصوى (م).

A: مساحة التصريف للحوض المائي (مساحة التجميع) (م^2).

٢ – حساب زمن التركيز:

هناك الكثير من النماذج الرياضية التي تستخدم المتغيرات المورفومترية للحوض المائي في حساب زمن التركيز. ومن أهم هذه النماذج الرياضية المستخدمة في هذا البحث نموذج فنتورا Ventura (BEI-ERE, 2006)، ونموذج كيربيش Kirpich (Kirpich, 1940)، ونموذج جونستون وكروس Jhonstone and Cross (Jhonstone and Cross, 1949)، ونموذج US Corps.



الشكل (٦) – أحواض الروافد المدروسة بحوض وادي عُرنة

٣ – تقدير حجم السيول:

تقدر كميات السيول المناسبة لكميات الأمطار اليومية القصوى بالحوض المائي بتطبيق المعادلة الآتية:

$$V_f = R_c \ V_p \qquad (7)$$

بحيث يمثل:

V_f: حجم كمية السيول المناسبة لكمية الأمطار اليومية القصوى (م^3).

R_c: معامل التدفق (الجريان) Runoff Coefficient، ويتم استخراجه من جدول خاص (الجدول ٣).

V_p: حجم كمية الأمطار اليومية القصوى (م^3).

٤ – تقدير زمن الذروة للتدفق الأقصى:

يقدر زمن الوصول للتدفق الأقصى للسيول بالحوض المائي بتطبيق المعادلة التالية:

$$T_p = (T_c + 0.133\ T_c)/\ (1.7) \qquad (8)$$

بحيث يمثل:

T_p: زمن الوصول للتدفق الأقصى للسيول، أو زمن الاستجابة للحوض المائي (ساعة).

T_c: زمن التركيز للحوض المائي (ساعة).

V_p: حجم كمية الأمطار اليومية القصوى (م^3).

الجدول (٣)

معامل الجريان السطحي العام المستخدم في نموذج

SCS Dimensionless Unit Hydrograph

Description	Runoff Cœfficient	Description	Runoff Cœfficient
Business		Lawns; sandy soils	
Downtown Areas	0.70 - 0.95	Flat, 2% slopes	0.05 - 0.10

تابع/ الجدول (٣)
معامل الجريان السطحي العام المستخدم في نموذج
SCS Dimensionless Unit Hydrograph

Description	Runoff Cœfficient	Description	Runoff Cœfficient
Neighborhood Areas	0.50 - 0.70	Average, 2% - 7% slopes	0.10 - 0.15
Residential		Steep, 7% slopes	0.15 - 0.20
Single-family	0.30 - 0.50	Lawns; heavy soils	
Multi-family detached	0.40 - 0.60	Flat, 2% slopes	0.13 - 0.17
Multi-family attached	0.60 - 0.75	Average, 2% - 7% slopes	0.18 - 0.22
Residential suburban	0.25 - 0.40	Steep, 7% slopes	0.25 - 0.35
Apartments	0.50 - 0.70	Streets	
Parks, cemeteries	0.10 - 0.25	Asphalt	0.70 - 0.95
Playgrounds	0.20 - 0.35	Concrete	0.80 - 0.95
Railroad yards	0.20 - 0.40	Brick	0.70 - 0.85
Unimproved areas	0.10 - 0.30		
Drives and walks	0.75 - 0.85		
Roofs	0.75 - 0.95		

المصدر: (Viessman and Lewis, 2002)

٥ – تقدير التدفق الأقصى للسيول:

$$q_p\ (m^3/s) = (0.208\ AQ)/(T_p) \qquad (9)$$

بحيث يمثل:

q_p: كمية التدفق الأقصى للسيول (م^3/ثانية).

A: مساحة التصريف للحوض المائي أو مساحة التجميع (كم^2).

T_p: زمن الوصول للتدفق الأقصى للسيول (ساعة).

Q: كمية الجريان السطحي (ملم)، وهي تحسب بواسطة المعادلة الآتية:

$$Q = R_c\ H \qquad (10)$$

بحيث يمثل:

R_c: معامل التدفق (الجريان) Runoff Coefficient.

H: كمية الأمطار اليومية القصوى (ملم).

Q: كمية الجريان السطحي (ملم).

٦ – النتائج والتحليل:

يتطلب تقدير التدفق اليومي الأقصى للسيول بتطبيق نموذج SCS Dimensionless Unit Hydrograph حساب المتغيرات التالية:

١ – تقدير زمن التركيز (Tc).

٢ – تقدير حجم الأمطار (Vp).

٣ – تقدير حجم السيول (Vf).

٤ – تقدير تدفق الذروة للسيول (Qp).

٦–١– تقدير زمن التركيز:

اعتمد متوسط زمن التركيز المحسوب بنموذج فنتورا Ventura (BEI-ERE, 2006)، ونموذج كيربيش Kirpich (Kirpich, 1940)، ونموذج جونستون وكروس Jhonstone and Cross (Gatimel and Pons, 2000)، ونموذج US Corps في تقدير التدفق الأقصى لسيول حوض وادي عرنة (الجدول ٤).

الجدول (٤)

زمن التركيز لأحواض الروافد المدروسة

رقم الحوض	I (m/m)	A (km2)	Lb (km)	Ventura	Kirpich	Jhonstone	US Corps	المتوسط
١	٠,٠١٦٨	١٢,٣	٩,٤	٣,٤	١,٨	٤,٢	٠,٧	٢,٥٥
٢	٠,٠١٠٣	١٩,٩	١٦,٤	٥,٦	٣,٣	٧,٢	١,٠	٤,٢٧
٣	٠,٠١٤٢	٣٥,٨	١٠,٩	٦,٤	٢,١	٥,٠	٠,٨	٣,٥٦
٤	٠,٠٣٣٩	١٠,٦	٧,٦	٢,٢	١,٢	٢,٧	٠,٧	١,٦٩
٥	٠,٠٣١٠	٩,٦	٦,٨	٢,٢	١,١	٢,٧	٠,٦	١,٦٦
٦	٠,٠٥١١	١٩,٦	٨,٢	٢,٥	١,٠	٢,٣	٠,٨	١,٦٥
٧	٠,٠٧٣٥	١٦٥,٨	٣٦,٠	٦,٠	٢,٩	٤,٠	٢,٧	٣,٨٧
٨	٠,١٥٥٠	١١٩,٣	٣٤,٨	٣,٥	٢,١	٢,٧	٣,٠	٢,٨٢

تابع/ الجدول (٤)
زمن التركيز لأحواض الروافد المدروسة

رقم الحوض	I (m/m)	A (km2)	Lb (km)	Ventura	Kirpich	Jhonstone	US Corps	المتوسط
٩	٠,١٥٤٤	٧٦,٢	١٩,٢	٢,٨	١,٣	٢,٠	١,٩	٢,٠١
١٠	٠,٢٣٦٤	١١,٢	٨,٨	٠,٩	٠,٦	١,١	١,١	٠,٩٣
١١	٠,١٦٧٧	٢٩,٣	١١,٩	١,٧	٠,٩	١,٥	١,٣	١,٣٥
١٢	٠,٠٦٩٤	١٣,٧	٧,٥	١,٨	٠,٩	١,٩	٠,٨	١,٣٣
١٣	٠,٠٦٧٩	٣٢,٩	١١,٢	٢,٨	١,٢	٢,٣	١,١	١,٨٤
١٤	٠,٠٧١٦	٣٣,٧	١٦,٧	٢,٨	١,٦	٢,٧	١,٥	٢,١٤
١٥	٠,٠٦٨٦	١٥,٣	٩,٨	١,٩	١,١	٢,١	١,٠	١,٥٢
١٦	٠,١٧٤٥	٦٢,٧	٢٠,٨	٢,٤	١,٣	٢,٠	٢,١	١,٩٤
١٧	٠,٢٨٩٢	١٩٦,٢	٣٩,٩	٣,٣	١,٨	٢,١	٣,٧	٢,٧٤
١٨	٠,٢٥٢٨	٦٦,٠	٢١,٥	٢,١	١,٢	١,٧	٢,٣	١,٧٩
١٩	٠,١٣٥١	١٢,٧	٩,٦	١,٢	٠,٨	١,٥	١,١	١,١٦
٢٠	٠,٣٥٢٣	١٩,٠	١٣,١	٠,٩	٠,٧	١,١	١,٧	١,١٠
٢١	٠,١٦٩٢	١٥,٨	١١,٩	١,٢	٠,٩	١,٥	١,٣	١,٢٣
٢٢	٠,٢٣٢٣	٤٩,٣	١٤,٠	١,٩	٠,٩	١,٤	١,٦	١,٤٣
٢٣	٠,٣٢٢٧	٦٩,٨	١٧,٠	١,٩	٠,٩	١,٣	٢,٠	١,٥١
٢٤	٠,٣٧٦٠	١٠٩,٢	١٩,٩	٢,٢	١,٠	١,٣	٢,٣	١,٦٨
٢٥	٠,٣٩٤٤	١٧٤,٠	٣٤,٧	٢,٧	١,٥	١,٧	٣,٦	٢,٣٤
٢٦	٠,٢٣٦١	٥٨,٧	١٩,٨	٢,٠	١,٢	١,٦	٢,١	١,٧٢
٢٧	٠,٣١٠٣	١٥٤,٤	٢٣,٦	٢,٨	١,٢	١,٦	٢,٥	٢,٠٣
٢٨	٠,١٦٤٧	٣٧,٥	١٦,٢	١,٩	١,١	١,٨	١,٧	١,٦٢
٢٩	٠,٢٠٢٠	٣٣,٧	١٤,٠	١,٦	٠,٩	١,٥	١,٦	١,٤٠
٣٠	٠,١٠٢١	٣٦,٨	١١,٢	٢,٤	١,٠	١,٩	١,٢	١,٦١
٣١	٠,٠٥٨٤	٦٤,٩	١٨,١	٤,٢	١,٨	٣,٢	١,٥	٢,٦٨
٣٢	٠,٠٤٨٧	١٦,٠	١٠,٤	٢,٣	١,٣	٢,٦	٠,٩	١,٧٨
٣٣	٠,٠٢٦٧	٨,٧	٦,٥	٢,٣	١,١	٢,٨	٠,٦	١,٧٠

تابع/ الجدول (٤)
زمن التركيز لأحواض الروافد المدروسة

رقم الحوض	I (m/m)	A (km2)	Lb (km)	Ventura	Kirpich	Jhonstone	US Corps	المتوسط
٣٤	٠,٠١١٩	١٢,٢	٦,٤	٤,١	١,٥	٤,١	٠,٥	٢,٥٥
٣٥	٠,٠١٤٩	٢٦,٢	١٧,٥	٥,٣	٣,٠	٦,١	١,١	٣,٩٠
٣٦	٠,٠١٢٧	٩,٤	٨,٨	٣,٥	١,٩	٤,٧	٠,٦	٢,٦٧

وبالاعتماد على بيانات الجدول (٤) نجد أن قيمة معامل الارتباط لبيرسون Pearson's correlation بلغت بين زمن التركيز من جهة وانحدار الحوض وطوله ومساحة تصريفه من جهة ثانية على التوالي ٠,٣٩٠- و٠,٤١٣ و٠,٣٠٥ عند مستوى الدلالة (الأهمية) ٠,٠١، أي أن زمن التركيز يتأثر بطول الحوض أكثر من تأثره بمساحة الحوض وانحدار سطحه.

٦-٢- تقدير حجم الأمطار اليومية القصوى:

قدّر حجم الأمطار اليومية القصوى بتطبيق المعادلة (٦) اعتماداً على متوسط الأمطار اليومية القصوى المناسبة لفترات الرجوع الممتدة من ٥ إلى ١٠٠ سنة، المحسوبة بست محطات كما يمثله الجدول (٥).

الجدول (٥)
تقدير كميات الأمطار اليومية القصوى بحوض وادي عُرنة

اسم المحطة	رمز المحطة	المتوسط	الانحراف المعياري	فترات الرجوع (سنة)				
		X'	s	٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠
الفرين	J113	٤٧,٠	٣٤,٤	٧١,٨	٨٢,٦	١١٧,٣	١٣٦,٢	١٥٤,٩
منتصف الهدى (شداد)	J205	٤٦,٠	٢٨,٧	٧٠,٢	٨٢,٨	٩٦,٣	١٠٥,٠	١١٢,٨
وادي محرم	TA106	٤٤,٠	٢٥,٢	٦٥,٢	٧٦,٣	٨٨,١	٩٥,٨	١٠٢,٦
حرة الجديدة	J102	٢٧,٤	٢٣,٤	٤٧,١	٥٧,٤	٦٨,٤	٧٥,٥	٨١,٩
الشفا	TA109	٤٤,٤	٢٠,٢	٥٨,٩	٦٥,٣	٨٥,٧	٩٦,٨	١٠٧,٨
الطائف	TA206	٣٤,٧	٢١,٠	٥٢,٤	٦١,٦	٧١,٥	٧٧,٨	٨٣,٦
المتوسط		**٤١,٧**	**٢٥,٦**	**٦٠,٩**	**٧١,٠**	**٨٧,٩**	**٩٧,٩**	**١٠٧,٣**

وتبلغ الأمطار القصوى بالمحطات المدروسة أقصاها بمحطة الفرين بكميات تتراوح بين ٧١,٨ ملم/يوم بالنسبة لفترات الرجوع ٥ سنوات و١٥٤,٩ ملم/يوم بالنسبة لفترة الرجوع ١٠٠ سنة وأدناها بمحطة حرة الجديدة بكميات تتراوح بين ٤٧,١ ملم/يوم بالنسبة لفترات الرجوع ٥ سنوات و٨١,٩ ملم/يوم بالنسبة لفترة الرجوع ١٠٠ سنة.

وعليه؛ فإن التوزيع الجغرافي لحجم الأمطار على مستوى مساحات التصريف لأحواض الروافد المدروسة يتأثر بالتباينات المكانية لتوزيع الأمطار؛ بحيث نجد أنَّ حجم الأمطار اليومية القصوى يتباين من حوض رافد لآخر بالنسبة لمختلف فترات الرجوع الممتدة من ٥ إلى ١٠٠ سنة، كما يوضحه الجدول (٦):

ويمكننا تصنيف أحواض الروافد المدروسة في ست فئات تتباين من حيث حجم الأمطار (الجدول ٧). ويلخص هذا الجدول التباينات المكانية للتوزيع المكاني لحجم الأمطار اليومية القصوى لهذه الفئات على النحو الآتي: (الشكل ٧).

١ – **تتشكل أحواض الفئة الأولى** من ١٥ حوضاً رافداً، تمتد على مساحات تصريف تراوح بين ٨,٧٤ كم^{٢} في الحوض ٣٣ و١٩,٩٤ كم^{٢} في الحوض ٢. وتتركز أحواض هذه الفئة على امتداد خط تقسيم المياه بالحوض الأعلى (الحوض ١٣ والحوض ١٤)، وفي الحوض الأوسط (الأحواض ٢٨ و٢٩ و٣٠)، وفي الحوض الأدنى (الحوض ٣ والحوض ٣٥).

الجدول (٦)

حجم الأمطار (مليون م^{٣}) بأحواض الروافد المدروسة

رقم الحوض	فترة الرجوع (سنة)					
	٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠	المتوسط
١	٠,٧٤٩	٠,٨٧٣	١,٠٨٠	١,٢٠٣	١,٣١٩	١,٠٤٥
٢	١,٢١٤	١,٤١٦	١,٧٥٣	١,٩٥٢	٢,١٤٠	١,٦٩٥
٣	٢,١٧٩	٢,٥٤٠	٣,١٤٥	٣,٥٠٢	٣,٨٣٩	٣,٠٤١
٤	٠,٦٤٤	٠,٧٥٠	٠,٩٢٩	١,٠٣٥	١,١٣٤	٠,٨٩٨

تابع/ الجدول (٦)
حجم الأمطار (مليون م^{٣}) بأحواض الروافد المدروسة

رقم الحوض	فترة الرجوع (سنة)					
	٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠	المتوسط
٥	٠,٥٨٧	٠,٦٨٤	٠,٨٤٧	٠,٩٤٤	١,٠٣٤	٠,٨١٩
٦	١,١٩٧	١,٣٩٥	١,٧٢٧	١,٩٢٤	٢,١٠٨	١,٦٧٠
٧	١٠,٠٩٥	١١,٧٦٩	١٤,٥٧٠	١٦,٢٢٨	١٧,٧٨٦	١٤,٠٩٠
٨	٧,٢٦٣	٨,٤٦٨	١٠,٤٨٣	١١,٦٧٦	١٢,٧٩٧	١٠,١٣٧
٩	٤,٦٤٢	٥,٤١٢	٦,٧٠٠	٧,٤٦٢	٨,١٧٩	٦,٤٧٩
١٠	٠,٦٨٢	٠,٧٩٥	٠,٩٨٤	١,٠٩٦	١,٢٠١	٠,٩٥١
١١	١,٧٨٢	٢,٠٧٧	٢,٥٧٢	٢,٨٦٤	٣,١٣٩	٢,٤٨٧
١٢	٠,٨٣٦	٠,٩٧٥	١,٢٠٧	١,٣٤٤	١,٤٧٣	١,١٦٧
١٣	٢,٠٠٦	٢,٣٣٩	٢,٨٩٦	٣,٢٢٥	٣,٥٣٥	٢,٨٠٠
١٤	٢,٠٥٥	٢,٣٩٦	٢,٩٦٧	٣,٣٠٤	٣,٦٢١	٢,٨٦٩
١٥	٠,٩٣١	١,٠٨٦	١,٣٤٤	١,٤٩٧	١,٦٤١	١,٣٠٠
١٦	٣,٨٢٠	٤,٤٥٤	٥,٥١٤	٦,١٤١	٦,٧٣١	٥,٣٣٢
١٧	١١,٩٤٩	١٣,٩٣١	١٧,٢٤٧	١٩,٢٠٩	٢١,٠٥٣	١٦,٦٧٨
١٨	٤,٠٢٠	٤,٦٨٦	٥,٨٠٢	٦,٤٦٢	٧,٠٨٣	٥,٦١١
١٩	٠,٧٧١	٠,٨٩٨	١,١١٢	١,٢٣٩	١,٣٥٨	١,٠٧٥
٢٠	١,١٥٨	١,٣٥٠	١,٦٧٢	١,٨٦٢	٢,٠٤١	١,٦١٧
٢١	٠,٩٦٢	١,١٢١	١,٣٨٨	١,٥٤٦	١,٦٩٥	١,٣٤٣
٢٢	٣,٠٠٤	٣,٥٠٣	٤,٣٣٦	٤,٨٣٠	٥,٢٩٣	٤,١٩٣
٢٣	٤,٢٥١	٤,٩٥٧	٦,١٣٦	٦,٨٣٤	٧,٤٩١	٥,٩٣٤
٢٤	٦,٦٥١	٧,٧٥٤	٩,٦٠٠	١٠,٦٩٢	١١,٧١٩	٩,٢٨٣
٢٥	١٠,٥٩٨	١٢,٣٥٥	١٥,٢٩٦	١٧,٠٣٦	١٨,٦٧٢	١٤,٧٩١
٢٦	٣,٥٧٨	٤,١٧١	٥,١٦٤	٥,٧٥١	٦,٣٠٤	٤,٩٩٣
٢٧	٩,٤٠١	١٠,٩٦٠	١٣,٥٦٩	١٥,١١٣	١٦,٥٦٤	١٣,١٢٢
٢٨	٢,٢٨٣	٢,٦٦٢	٣,٢٩٥	٣,٦٧٠	٤,٠٢٢	٣,١٨٦

تابع/ الجدول (٦)
حجم الأمطار (مليون م^3) بأحواض الروافد المدروسة

رقم الحوض	فترة الرجوع (سنة)					
	٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠	المتوسط
٢٩	٢,٠٥٠	٢,٣٩٠	٢,٩٥٨	٣,٢٩٥	٣,٦١١	٢,٨٦١
٣٠	٢,٢٤٢	٢,٦١٤	٣,٢٣٦	٣,٦٠٥	٣,٩٥١	٣,١٣٠
٣١	٣,٩٥٠	٤,٦٠٥	٥,٧٠١	٦,٣٥٠	٦,٩٦٠	٥,٥١٣
٣٢	٠,٩٧٥	١,١٣٦	١,٤٠٧	١,٥٦٧	١,٧١٧	١,٣٦٠
٣٣	٠,٥٣٢	٠,٦٢١	٠,٧٦٨	٠,٨٥٦	٠,٩٣٨	٠,٧٤٣
٣٤	٠,٧٤٢	٠,٨٦٥	١,٠٧٢	١,١٩٣	١,٣٠٨	١,٠٣٦
٣٥	١,٥٩٨	١,٨٦٤	٢,٣٠٧	٢,٥٧٠	٢,٨١٦	٢,٢٣١
٣٦	٠,٥٧٤	٠,٦٧٠	٠,٨٢٩	٠,٩٢٣	١,٠١٢	٠,٨٠٢

٢ – **تتشكل أحواض الفئة الثانية** من ٨ أحواض رافدة تمتد على مساحات تصريف تراوح بين ٢٦,٥ كم^2 (الحوض ٣٥) و٣٧,٥ كم^2 (الحوض ٢٨)، وتشكل إجمالي مساحة تصريف تبلغ ٣٢٦٥,٧٤ كم^2، أي ما يعادل ١١,٦٪ من إجمالي مساحة لحوض وادي عُرنة. ويراوح متوسط حجم الأمطار اليومية القصوى بأحواض هذه الفئة بين ٢,٢٣١ مليون م^3/يوم بحوض الرافد ٣٥ و٣,١٨٦ مليون م^3/يوم بحوض الرافد ٢٨. وتتركز أحواض هذه الفئة بالسفح الشمالي للحوض الأعلى وبالسفح الجنوبي للحوض الأوسط، وبالحوض الأدنى لوادي عُرنة.

الجدول (٧)
فئات حجم الأمطار الأقصى والأدنى بأحواض روافد وادي عُرنة (مليون م^3)

الفئة	حجم الأمطار (مليون م^3)	فترة الرجوع (سنة)					المتوسط	رقم الحوض
		٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠		
الفئة الأولى	الأقصى	١,٢١٤	١,٤١٦	١,٧٥٣	١,٩٥٢	٢,١٤٠	١,٦٩٥	٢
	الأدنى	٠,٥٣٢	٠,٦٢١	٠,٧٦٨	٠,٨٥٦	٠,٩٣٨	٠,٧٤٣	٣٣

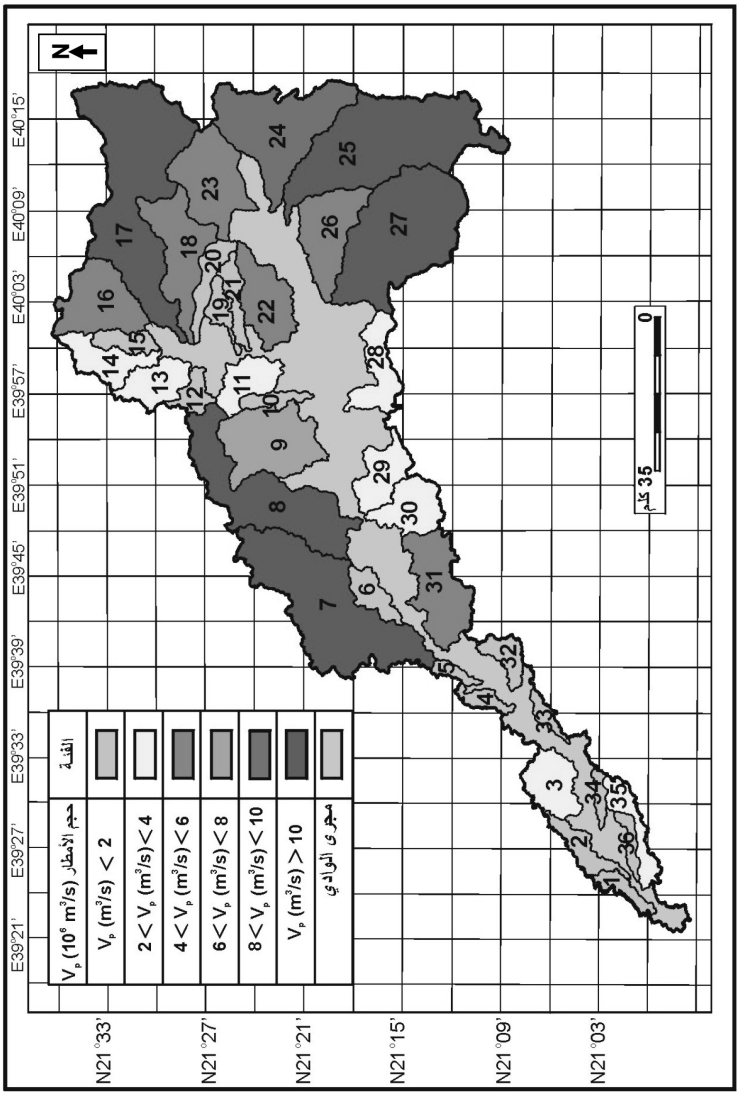
تابع/ الجدول (٧)
فئات حجم الأمطار الأقصى والأدنى بأحواض روافد وادي عُرنة (مليون م^3)

الفئة	حجم الأمطار (مليون م^3)	فترة الرجوع (سنة) ٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠	المتوسط	رقم الحوض
الفئة الثانية	الأقصى	٢,٢٨٣	٢,٦٦٢	٣,٢٩٥	٣,٦٧٠	٤,٠٢٢	٣,١٨٦	٢٨
	الأدنى	١,٥٩٨	١,٨٦٤	٢,٣٠٧	٢,٥٧٠	٢,٨١٦	٢,٢٣١	٣٥
الفئة الثالثة	الأقصى	٤,٢٥١	٤,٩٥٧	٦,١٣٦	٦,٨٣٤	٧,٤٩١	٥,٩٣٤	٢٣
	الأدنى	٣,٠٠٤	٣,٥٠٣	٤,٣٣٦	٤,٨٣٠	٥,٢٩٣	٤,١٩٣	٢٢
الفئة الرابعة	الأقصى	٤,٦٤٢	٥,٤١٢	٦,٧٠٠	٧,٤٦٢	٨,١٧٩	٦,٤٧٩	٩
	الأدنى	---	---	---	---	---	---	---
الفئة الخامسة	الأقصى	٦,٦٥١	٧,٧٥٤	٩,٦٠٠	١٠,٦٩٢	١١,٧١٩	٩,٢٨٣	٢٤
	الأدنى	---	---	---	---	---	---	---
الفئة السادسة	الأقصى	١١,٩٤٩	١٣,٩٣١	١٧,٢٤٧	١٩,٢٠٩	٢١,٠٥٣	١٦,٦٧٨	١٧
	الأدنى	٧,٢٦٣	٨,٤٦٨	١٠,٤٨٣	١١,٦٧٦	١٢,٧٩٧	١٠,١٣٧	٨

٣ – تتشكل أحواض الفئة الثالثة من ٦ أحواض رافدة تمتد على مساحات تصريف تراوح بين ٤٩,٣ كم^2 (الحوض ٢٢)، و٦٩,٨ كم^2 (الحوض ٢٣)، وتشكل إجمالي مساحة تصريف تبلغ ٣٧١,٤٩ كم^2، أي ما يعادل ١٦,٢٪ من إجمالي مساحة لحوض وادي عُرنة. ويراوح متوسط حجم الأمطار اليومية القصوى بأحواض هذه الفئة بين ٤,١٩٣ مليون م^3/يوم في حوض الرافد ٢٢ و٥,٩٣٤ مليون م^3/يوم في حوض الرافد ٢٣. وتتركز أحواض هذه الفئة بالحوض الأعلى عدا الحوض ٣١ الذي يمتد بالحوض الأدنى لوادي عُرنة.

٥ – تتشكل الفئتان الرابعة والخامسة من حوض رافد واحد لكل منهما يمتدان على مساحة تصريف تبلغ على التوالي ٧٦,٢ كم^2 (الحوض ٩) و١٠٩,٢ كم^2 (الحوض ٢٤)، وتشكل إجمالي مساحة تصريف تبلغ ١٨٥,٤٣ كم^2؛ أي ما يعادل ٨,١٪ من إجمالي مساحة لحوض وادي عُرنة. ويراوح متوسط حجم الأمطار اليومية القصوى في هذين الحوضين بين ٦,٤٧٩ مليون

م^3/يوم و٩,٢٩٣ مليون م^3/يوم على التوالي. ويمتد حوض الرافد ٩ في الحوض الأوسط وحوض الرافد ٢٤ في الحوض الأعلى لوادي عُرنة.



الشكل (٧) – تصنيف أحواض روافد وادي عُرنة بحسب متوسط حجم الأمطار لفترات الرجوع الممتدة من ٥ إلى ١٠٠ سنة

٦ – **تتشكل أحواض الفئة السادسة** من ٥ أحواض رافده تمتد على مساحات تصريف تتراوح بين ١١٩,٣ كم^{٢} (الحوض ٨)، و١٩٦,٢ كم^{٢} (الحوض ١٧)، وتشكل إجمالي مساحة تصريف تبلغ ٨٠٩,٦٢ كم^{٢}، أي ما يعادل ٣٥,٣٪ من إجمالي مساحة لحوض وادي عُرنة. ويراوح متوسط حجم الأمطار اليومية القصوى في أحواض هذه الفئة بين ١٠,١٣٧ مليون م^{٣}/يوم بحوض الرافد ٨ و١٦,٦٧٣ مليون م^{٣}/يوم في حوض الرافد ١٧. وتمتد أحواض هذه الفئة في الحوض الأعلى (الأحواض ١٧ و٢٥ و٢٧) وعلى السفح الشمالي في الحوض الأوسط (الحوض ٧ والحوض ٨).

وبالاعتماد على بيانات الجدول (٦) نجد أن قيمة معامل الارتباط لبيرسون Pearson's correlation بلغت بين متوسط حجم الأمطار من جهة، وانحدار الحوض وطوله ومساحة تصريفه وزمن التركيز من جهة ثانية على التوالي ٠,٥٧٥ و٠,٩٣٢ و١,٠٠٠ عند مستوى الدلالة (الأهمية) ٠,٠١ و٠,٣٠٥ عند مستوى الدلالة ٠,٠٥؛ أي أن حجم الأمطار يتأثر بمساحة التصريف وطول الحوض أكثر من تأثره بانحدار سطح الحوض وزمن التركيز.

٦–٣– تقدير حجم السيول:

يتأثر التوزيع الجغرافي لحجم السيول على مستوى مساحات التصريف لأحواض الروافد المدروسة بالتباينات المكانية لتوزيع الأمطار؛ بحيث نجد أن حجم السيول اليومية القصوى يتباين من حوض رافد لآخر بالنسبة لمختلف فترات الرجوع الممتدة من ٥ إلى ١٠٠ سنة على نحو ما يوضحه الجدول (٨).

الجدول (٨)

حجم السيول (مليون م^{٣}) بأحواض الرافد المدروسة

رقم الحوض	فترة الرجوع (سنة)					
	٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠	المتوسط
١	٠,١٥٠	٠,١٧٥	٠,٢١٦	٠,٢٤١	٠,٢٦٤	٠,٢٠٩
٢	٠,٢٤٣	٠,٢٨٣	٠,٣٥١	٠,٣٩٠	٠,٤٢٨	٠,٣٣٩

تابع/ الجدول (٨)
حجم السيول (مليون م^{٣}) بأحواض الرافد المدروسة

رقم الحوض	فترة الرجوع (سنة)					
	٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠	المتوسط
٣	٠,٤٣٦	٠,٥٠٨	٠,٦٢٩	٠,٧٠٠	٠,٧٦٨	٠,٦٠٨
٤	٠,١٢٩	٠,١٥٠	٠,١٨٦	٠,٢٠٧	٠,٢٢٧	٠,١٨٠
٥	٠,١١٧	٠,١٣٧	٠,١٦٩	٠,١٨٩	٠,٢٠٧	٠,١٦٤
٦	٠,٢٣٩	٠,٢٧٩	٠,٣٤٥	٠,٣٨٥	٠,٤٢٢	٠,٣٣٤
٧	٢,٠١٩	٢,٣٥٤	٢,٩١٤	٣,٢٤٦	٣,٥٥٧	٢,٨١٨
٨	١,٤٥٣	١,٦٩٤	٢,٠٩٧	٢,٣٣٥	٢,٥٥٩	٢,٠٢٧
٩	٠,٩٢٨	١,٠٨٢	١,٣٤٠	١,٤٩٢	١,٦٣٦	١,٢٩٦
١٠	٠,١٣٦	٠,١٥٩	٠,١٩٧	٠,٢١٩	٠,٢٤٠	٠,١٩٠
١١	٠,٣٥٦	٠,٤١٥	٠,٥١٤	٠,٥٧٣	٠,٦٢٨	٠,٤٩٧
١٢	٠,١٦٧	٠,١٩٥	٠,٢٤١	٠,٢٦٩	٠,٢٩٥	٠,٢٣٣
١٣	٠,٤٠١	٠,٤٦٨	٠,٥٧٩	٠,٦٤٥	٠,٧٠٧	٠,٥٦٠
١٤	٠,٤١١	٠,٤٧٩	٠,٥٩٣	٠,٦٦١	٠,٧٢٤	٠,٥٧٤
١٥	٠,١٨٦	٠,٢١٧	٠,٢٦٩	٠,٢٩٩	٠,٣٢٨	٠,٢٦٠
١٦	٠,٧٦٤	٠,٨٩١	١,١٠٣	١,٢٢٨	١,٣٤٦	١,٠٦٦
١٧	٢,٣٩٠	٢,٧٨٦	٣,٤٤٩	٣,٨٤٢	٤,٢١١	٣,٣٣٦
١٨	٠,٨٠٤	٠,٩٣٧	١,١٦٠	١,٢٩٢	١,٤١٧	١,١٢٢
١٩	٠,١٥٤	٠,١٨٠	٠,٢٢٢	٠,٢٤٨	٠,٢٧٢	٠,٢١٥
٢٠	٠,٢٣٢	٠,٢٧٠	٠,٣٣٤	٠,٣٧٢	٠,٤٠٨	٠,٣٢٣
٢١	٠,١٩٢	٠,٢٢٤	٠,٢٧٨	٠,٣٠٩	٠,٣٣٩	٠,٢٦٩
٢٢	٠,٦٠١	٠,٧٠١	٠,٨٦٧	٠,٩٦٦	١,٠٥٩	٠,٨٣٩
٢٣	٠,٨٥٠	٠,٩٩١	١,٢٢٧	١,٣٦٧	١,٤٩٨	١,١٨٧
٢٤	١,٣٣٠	١,٥٥١	١,٩٢٠	٢,١٣٨	٢,٣٤٤	١,٨٥٧
٢٥	٢,١٢٠	٢,٤٧١	٣,٠٥٩	٣,٤٠٧	٣,٧٣٤	٢,٩٥٨
٢٦	٠,٧١٦	٠,٨٣٤	١,٠٣٣	١,١٥٠	١,٢٦١	٠,٩٩٩

تابع/ الجدول (٨)
حجم السيول (مليون م^{٣}) بأحواض الرافد المدروسة

رقم الحوض	فترة الرجوع (سنة)					
	٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠	المتوسط
٢٧	١,٨٨٠	٢,١٩٢	٢,٧١٤	٣,٠٢٣	٣,٣١٣	٢,٦٢٤
٢٨	٠,٤٥٧	٠,٥٣٢	٠,٦٥٩	٠,٧٣٤	٠,٨٠٤	٠,٦٣٧
٢٩	٠,٤١٠	٠,٤٧٨	٠,٥٩٢	٠,٦٥٩	٠,٧٢٢	٠,٥٧٢
٣٠	٠,٤٤٨	٠,٥٢٣	٠,٦٤٧	٠,٧٢١	٠,٧٩٠	٠,٦٢٦
٣١	٠,٧٩٠	٠,٩٢١	١,١٤٠	١,٢٧٠	١,٣٩٢	١,١٠٣
٣٢	٠,١٩٥	٠,٢٢٧	٠,٢٨١	٠,٣١٣	٠,٣٤٣	٠,٢٧٢
٣٣	٠,١٠٦	٠,١٢٤	٠,١٥٤	٠,١٧١	٠,١٨٨	٠,١٤٩
٣٤	٠,١٤٨	٠,١٧٣	٠,٢١٤	٠,٢٣٩	٠,٢٦٢	٠,٢٠٧
٣٥	٠,٣٢٠	٠,٣٧٣	٠,٤٦١	٠,٥١٤	٠,٥٦٣	٠,٤٤٦
٣٦	٠,١١٥	٠,١٣٤	٠,١٦٦	٠,١٨٥	٠,٢٠٢	٠,١٦٠

ويمكننا تصنيف أحواض الروافد المدروسة في ست فئات، تتباين من حيث حجم السيول (الجدول ٩). ويلخص هذا الجدول التباينات المكانية للتوزيع المكاني لحجم السيول اليومية القصوى لهذه الفئات على النحو الآتي: (الشكل ٥).

الجدول (٩)
فئات حجم السيول الأقصى والأدنى بأحواض روافد وادي عُرنة (مليون م^{٣})

الفئة	حجم السيول (مليون م^{٣})	٥ سنوات	١٠ سنوات	٢٥ سنة	٥٠ سنة	١٠٠ سنة	المتوسط	رقم الحوض
الفئة الأولى	الأقصى	٠,٣٥٦	٠,٤١٥	٠,٥١٤	٠,٥٧٣	٠,٦٢٨	٠,٤٩٧	١١
	الأدنى	٠,١٠٦	٠,١٢٤	٠,١٥٤	٠,١٧١	٠,١٨٨	٠,١٤٩	٣٣
الفئة الثانية	الأقصى	٠,٧١٦	٠,٨٣٤	١,٠٣٣	١,١٥٠	١,٢٦١	٠,٩٩٩	٢٦
	الأدنى	٠,٤٠١	٠,٤٦٨	٠,٥٧٩	٠,٦٤٥	٠,٧٠٧	٠,٥٦٠	١٣
الفئة الثالثة	الأقصى	٠,٩٢٨	١,٠٨٢	١,٣٤٠	١,٤٩٢	١,٦٣٦	١,٢٩٦	٩
	الأدنى	٠,٧٦٤	٠,٨٩١	١,١٠٣	١,٢٢٨	١,٣٤٦	١,٠٦٦	١٦

تابع/ الجدول (٩)
فئات حجم السيول الأقصى والأدنى بأحواض روافد وادي عُرنة (مليون م^3)

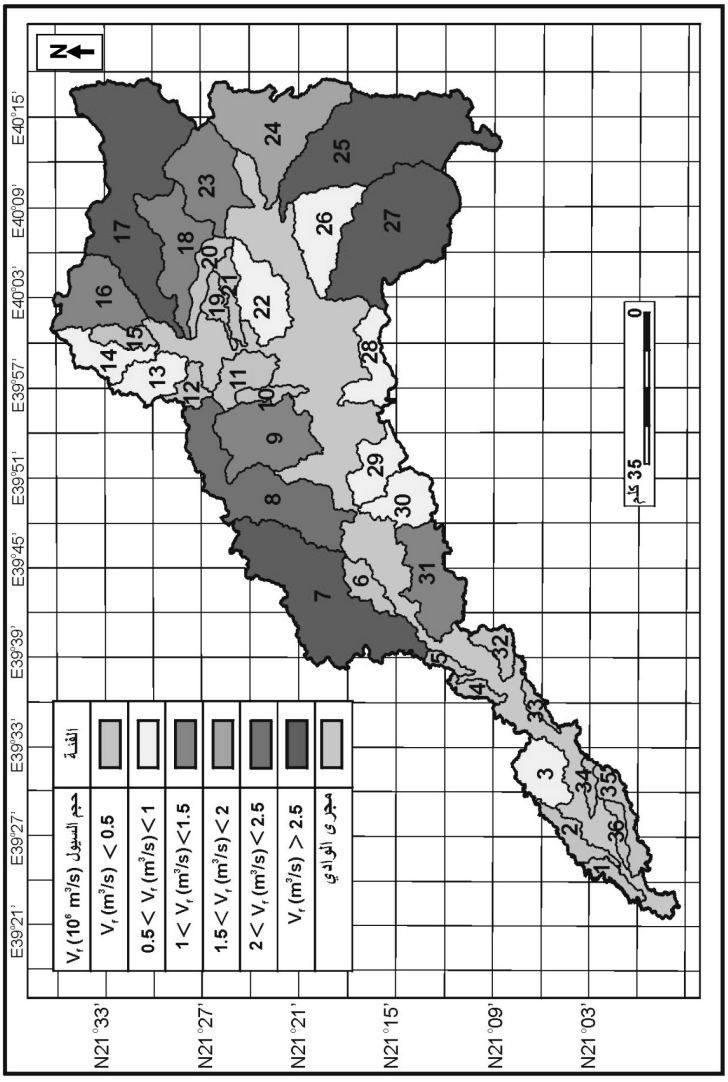
الفئة	حجم السيول (مليون م^3)	٥ سنوات	١٠ سنوات	٢٥ سنة	٥٠ سنة	١٠٠ سنة	المتوسط	رقم الحوض
الفئة الرابعة	الأقصى	١,٣٣٠	١,٥٥١	١,٩٢٠	٢,١٣٨	٢,٣٤٤	١,٨٥٧	٢٤
	الأدنى	---	---	---	---	---	---	---
الفئة الخامسة	الأقصى	١,٤٥٣	١,٦٩٤	٢,٠٩٧	٢,٣٣٥	٢,٥٥٩	٢,٠٢٧	٨
	الأدنى	---	---	---	---	---	---	---
الفئة السادسة	الأقصى	٢,٣٩٠	٢,٧٨٦	٣,٤٤٩	٣,٨٤٢	٤,٢١١	٣,٣٣٦	١٧
	الأدنى	١,٨٨٠	٢,١٩٢	٢,٧١٤	٣,٠٢٣	٣,٣١٣	٢,٦٢٤	٢٧

١ – **تتشكل أحواض الفئة الأولى** من ١٧ حوضاً رافداً، تمتد على مساحات تصريف تراوح بين ٨,٧٤ كم^2 في الحوض ٣٣ و٢٩,٣ كم^2 في الحوض ١١. ويراوح حجم سيول أحواض روافد هذه الفئة بين ٠,١٤٩ مليون م^3 في الحوض ٣٣ و٠,٤٩٧ مليون م^3 في الحوض ١١. وتتميز هذه الأحواض بانحدارات تراوح بين ١,٠٣٪ بالحوض ٢ و٣٥,٢٣٪ في الحوض ٢٠ وبأطوال مجار تراوح بين ٦,٣٩ كم في الحوض ٣٤ و١٧,٤٨ كم في الحوض ٣٥.

٢ – **تتشكل أحواض الفئة الثانية** من ٨ أحواض رافدة تمتد على مساحات تصريف تتراوح بين ٣٢,٩٤ كم^2 في الحوض ١٣ و٥٨,٧ كم^2 في الحوض ٢٦. ويراوح حجم سيول أحواض روافد هذه الفئة بين ٠,٥٦٠ مليون م^3 و٠,٩٩٩ مليون م^3 بهذين الحوضين على التوالي. وتتميز هذه الأحواض بانحدارات تتراوح بين ١,٤٢٪ في الحوض ٣ و٢٣,٦١٪ في الحوض ٢٦، وبأطوال مجار تراوح في هذين الحوضين بين ١٠,٩٤ كم و١٩,٨٣ كم على التوالي.

٣ – **تتشكل أحواض الفئة الثالثة** من ٥ أحواض رافدة تمتد على مساحات تصريف تراوح بين ٦٢,٧ كم^2 في الحوض ١٦ و٧٦,٢ كم^2 في الحوض ٩. ويراوح حجم سيول أحواض روافد هذه الفئة بين ١,٠٦٦ مليون م^3 و١,٢٩٦ مليون م^3 في هذين الحوضين على التوالي. وتتميز هذه الأحواض بانحدارات

تراوح بين ٥,٨٤٪ في الحوض ٣١، و٣٢,٢٧٪ في الحوض ٢٣، وبأطوال مجار تراوح بين ١٦,٩٠ كم في الحوض ٢٣، و٢١,٥١ كم في الحوض ١٨.



الشكل (٨) – تصنيف أحواض روافد وادي عُرنة بحسب متوسط حجم السيول لفترات الرجوع الممتدة من ٥ إلى ١٠٠ سنة

٤ – **تتشكل الفئة الرابعة** من حوض الرافد ٢٤، الذي يمتد على مساحة تصريف تبلغ ١٠٩,٢١ كم^{٢}، وبحجم سيول يبلغ ١,٨٥٧ مليون م^{٣}.

٥ – **تتشكل الفئة الخامسة** من حوض الرافد ٨، يمتد على مساحة تصريف تبلغ ١١٩,٢٦ كم^{٢}، وبحجم سيول يبلغ ٢,٠٢٧ مليون م^{٣}. ويتميز هذان الحوضان بانحدارات تراوح بين ١٥,٥٠٪ في الحوض ٨ و٣٧,٦٠٪ في الحوض ٢٤، وبأطوال مجاري تراوح بين ١٩,٨٦ كم في الحوض ٢٤ و٣٤,٨٢ كم في الحوض ٨.

٦– **تتشكل أحواض الفئة السادسة** من ٤ أحواض روافد، تمتد على مساحات تصريف تتراوح بين ١٥٤,٤ كم^{٢} بالحوض ٢٧ و١٩٦,٢ كم^{٢} بالحوض ١٧. ويراوح حجم سيول أحواض روافد هذه الفئة بين ٢,٦٢٤ مليون م^{٣} و٣,٣٣٦ مليون م^{٣} في هذين الحوضين على التوالي. وتتميز هذه الأحواض بانحدارات تراوح بين ٧,٣٥٪ في الحوض ٧ و٣٩,٤٤٪ في الحوض ٢٥، وبأطوال مجارٍ تراوح بين ٢٣,٥٨ كم في الحوض ٢٧ و٣٩,٩١ كم في الحوض ١٧.

ويتأثر متوسط حجم السيول بأحواض الروافد المدروسة بمساحة التصريف وبحجم الأمطار وبطول الحوض أكثر من تأثره بانحدار الحوض وبزمن التركيز، كما تعكسه قيمة معامل الارتباط لبيرسون Pearson's correlation، التي بلغت بين حجم السيول من جهة والتغيرات المذكورة من جهة ثانية على التوالي: ١,٠٠٠ و١,٠٠٠ و٠,٩٣٢ و٠,٥٧٥ و٠,٣٠٥ عند مستوى الدلالة (الأهمية) ٠,٠١.

٦–٤– تقدير تدفق الذروة:

يتأثر التوزيع الجغرافي لتدفق الذروة للسيول على مستوى مساحات التصريف لأحواض الروافد المدروسة بالتباينات المكانية لتوزيع الأمطار؛ بحيث نجد أن هذا التدفق يتباين من حوض رافد لآخر بالنسبة لمختلف فترات الرجوع الممتدة من ٥ إلى ١٠٠ سنة، كما يوضحه الجدول (١٠):

ويمكننا تصنيف أحواض الروافد المدروسة في ست فئات تتباين من حيث

تدفق الذروة للسيول (الجدول ١١). ويلخص هذا الجدول التباينات المكانية للتوزيع المكاني لتدفق الذروة للسيول بهذه الفئات على النحو الآتي: (الشكل ٩).

١- **تتشكل أحواض الفئة الأولى** من ١١ حوضاً رافداً، تمتد على مساحات تصريف تراوح بين ٩,٤ كم^{٢} في الحوض ٣٦ و١٥,٣ كم^{٢} في الحوض ١٥. ويراوح تدفق الذروة لسيول أحواض روافد هذه الفئة بين ١٦,٨٤١ م^{٣}/ثانية و٤٩,٠٦٠ م^{٣}/ثانية في هذين الحوضين على التوالي. وتتميز هذه الأحواض بانحدارات تراوح بين ١,٠٣٪ في الحوض ٢ و٤,٨٧٪ في الحوض ٣٢، وبأطوال مجارٍ تراوح بين ٦,٣٩ كم في الحوض ٣٤ و١٦,٤١ كم في الحوض ٢.

٢- **تتشكل أحواض الفئة الثانية** من ٨ أحواض رافدة تمتد على مساحات تصريف تراوح بين ١٣,٧ كم^{٢} في الحوض ١٢ و١٩,١ كم^{٢} في الحوض ٢٠. ويراوح تدفق الذروة لسيول أحواض روافد هذه الفئة بين ٥٠,٤٥٤ م^{٣}/ثانية و٩١,١٩٢ م^{٣}/ثانية في هذين الحوضين على التوالي. وتتميز هذه الأحواض بانحدارات تراوح بين ٥,١١٪ في الحوض ٦ و٢٣,٦٤٪ في الحوض ١٠ وبأطوال مجارٍ تراوح بين ٨,١٦ كم في الحوض ٦ و١٦,٦٦ كم في الحوض ١٤.

الجدول (١٠)

تدفق الذروة لسيول أحواض الروافد المدروسة (م^{٣}/ثانية)

رقم الحوض	فترة الرجوع (سنة)					
	٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠	المتوسط
١	١٦,٣٩٩	١٩,٠٨٧	٢٣,٦٥٧	٢٦,٣٤٦	٢٨,٩٠٠	٢٢,٨٧٨
٢	١٥,٥٤١	١٨,٠٨٩	٢٢,٤٢٠	٢٤,٩٦٨	٢٧,٣٨٨	٢١,٦٨١
٣	٣٢,٦٢٤	٣٧,٩٧٣	٤٧,٠٦٥	٥٢,٤١٣	٥٧,٤٩٤	٤٥,٥١٤
٤	٢١,٦٥١	٢٥,٢٠٠	٣١,٢٣٤	٣٤,٧٨٣	٣٨,١٥٥	٣٠,٢٠٤
٥	٢٠,١٢٩	٢٣,٤٢٩	٢٩,٠٣٩	٣٢,٣٣٩	٣٥,٤٧٤	٢٨,٠٨٢
٦	٤٠,٧٣٥	٤٧,٤١٢	٥٨,٧٦٥	٦٥,٤٤٢	٧١,٧٨٦	٥٦,٨٢٨
٧	١٣٨,٨٨٥	١٦١,٦٥٣	٢٠٠,٣٥٩	٢٢٣,١٢٧	٢٤٤,٧٥٧	١٩٣,٧٥٦
٨	١٤٤,٧١٥	١٦٨,٤٣٨	٢٠٨,٧٦٩	٢٣٢,٤٩٢	٢٥٥,٠٣٠	٢٠١,٨٨٩

تابع/ الجدول (١٠)
تدفق الذروة لسيول أحواض الروافد المدروسة (م^3/ثانية)

رقم الحوض	فترة الرجوع (سنة)					
	٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠	المتوسط
٩	١٣٠,٠٨٦	١٥١,٤١١	١٨٧,٦٦٥	٢٠٨,٩٩٠	٢٢٩,٢٥٠	١٨١,٤٨١
١٠	٤٥,٠٢٦	٥٢,٤٠٧	٦٤,٩٥٥	٧٢,٣٣٧	٧٩,٣٤٩	٦٢,٨١٥
١١	٧٦,٦٩٨	٨٩,٢٧١	١١٠,٦٤٦	١٢٣,٢١٩	١٣٥,١٦٤	١٠٦,٩٩٩
١٢	٣٦,١٦٦	٤٢,٠٩٤	٥٢,١٧٣	٥٨,١٠٢	٦٣,٧٣٤	٥٠,٤٥٤
١٣	٦٠,٧٣٥	٧٠,٦٩١	٨٧,٦١٧	٩٧,٥٧٤	١٠٧,٠٣٢	٨٤,٧٣٠
١٤	٥٤,١٢٦	٦٢,٩٩٩	٧٨,٠٨٣	٨٦,٩٥٦	٩٥,٣٨٥	٧٥,٥١٠
١٥	٣٥,١٦٧	٤٠,٩٣٢	٥٠,٧٣٢	٥٦,٤٩٧	٦١,٩٧٤	٤٩,٠٦٠
١٦	١١٢,٨١٧	١٣١,٣١٢	١٦٢,٧٥٢	١٨١,٢٤٧	١٩٨,٨١٧	١٥٧,٣٨٩
١٧	٢٤٩,٦٣٥	٢٩٠,٥٥٨	٣٦٠,١٢٩	٤٠١,٠٥٢	٤٣٩,٩٣٠	٣٤٨,٢٦١
١٨	١٣١,٢١٩	١٥٢,٧٣٠	١٨٩,٣٠٠	٢١٠,٨١١	٢٣١,٢٤٧	١٨٣,٠٦١
١٩	٣٩,٦٤١	٤٦,١٤٠	٥٧,١٨٨	٦٣,٦٨٦	٦٩,٨٦٠	٥٥,٣٠٣
٢٠	٦٥,٣٦٧	٧٦,٠٨٢	٩٤,٢٩٩	١٠٥,٠١٥	١١٥,١٩٥	٩١,١٩٢
٢١	٤٦,٦٧٠	٥٤,٣٢١	٦٧,٣٢٧	٧٤,٩٧٨	٨٢,٢٤٦	٦٥,١٠٩
٢٢	١٢١,٨٣٦	١٤١,٨١٠	١٧٥,٧٦٤	١٩٥,٧٣٧	٢١٤,٧١٢	١٦٩,٩٧٢
٢٣	١٦٤,٧٦٦	١٩١,٧٧٧	٢٣٧,٦٩٥	٢٦٤,٧٠٦	٢٩٠,٣٦٦	٢٢٩,٨٦٢
٢٤	٢٣٠,٨٢٦	٢٦٨,٦٦٦	٣٣٢,٩٩٥	٣٧٠,٨٣٥	٤٠٦,٧٨٣	٣٢٢,٠٢١
٢٥	٢٦٥,٠٥٧	٣٠٨,٥٠٩	٣٨٢,٣٧٨	٤٢٥,٨٣٠	٤٦٧,١٠٩	٣٦٩,٧٧٧
٢٦	١٢١,١١٧	١٤٠,٩٧٣	١٧٤,٧٢٦	١٩٤,٥٨٢	٢١٣,٤٤٤	١٦٨,٩٦٨
٢٧	٢٦٥,٠٧٤	٣٠٨,٥٢٩	٣٨٢,٤٠٢	٤٢٥,٨٥٧	٤٦٧,١٣٩	٣٦٩,٨٠١
٢٨	٨١,٦٠٢	٩٤,٩٧٩	١١٧,٧٢١	١٣١,٠٩٨	١٤٣,٨٠٧	١١٣,٨٤١
٢٩	٨٥,٥٧٢	٩٩,٦٠١	١٢٣,٤٤٩	١٣٧,٤٧٧	١٥٠,٨٠٤	١١٩,٣٨٠
٣٠	٧٨,١٣٥	٩٠,٩٤٥	١١٢,٧٢٠	١٢٥,٥٢٩	١٣٧,٦٩٨	١٠٩,٠٠٥
٣١	٨٠,٠٠٧	٩٣,١٢٣	١١٥,٤٢٠	١٢٨,٥٣٦	١٤٠,٩٩٦	١١١,٦١٦
٣٢	٣١,٠١٦	٣٦,١٠١	٤٤,٧٤٥	٤٩,٨٢٩	٥٤,٦٦٠	٤٣,٢٧٠

تابع/ الجدول (١٠)
تدفق الذروة لسيول أحواض الروافد المدروسة (م^{٣}/ثانية)

رقم الحوض	فترة الرجوع (سنة)					
	٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠	المتوسط
٣٣	١٧,٧٨٦	٢٠,٧٠٢	٢٥,٦٥٩	٢٨,٥٧٥	٣١,٣٤٥	٢٤,٨١٣
٣٤	١٦,٠٦٧	١٨,٧٠١	٢٣,١٧٨	٢٥,٨١٢	٢٨,٣١٤	٢٢,٤١٤
٣٥	٢٢,٢٧١	٢٥,٩٢٢	٣٢,١٢٩	٣٥,٧٨٠	٣٩,٢٤٩	٣١,٠٧٠
٣٦	١٢,٠٧٢	١٤,٠٥١	١٧,٤١٥	١٩,٣٩٤	٢١,٢٧٤	١٦,٨٤١

الجدول (١١)
فئات تدفق الأقصى والأدنى بأحواض روافد وادي عُرنة (م^{٣}/ثانية)

الفئة	حجم السيول (مليون م^{٣})	٥ سنوات	١٠ سنوات	٢٥ سنة	٥٠ سنة	١٠٠ سنة	المتوسط	رقم الحوض
الفئة الأولى	الأقصى	٣٥,١٦٧	٤٠,٩٣٢	٥٠,٧٣٢	٥٦,٤٩٧	٦١,٩٧٤	٤٩,٠٦٠	١٥
	الأدنى	١٢,٠٧٢	١٤,٠٥١	١٧,٤١٥	١٩,٣٩٤	٢١,٢٧٤	١٦,٨٤١	٣٦
الفئة الثانية	الأقصى	٦٥,٣٦٧	٧٦,٠٨٢	٩٤,٢٩٩	١٠٥,٠١٥	١١٥,١٩٥	٩١,١٩٢	٢٠
	الأدنى	٣٦,١٦٦	٤٢,٠٩٤	٥٢,١٧٣	٥٨,١٠٢	٦٣,٧٣٤	٥٠,٤٥٤	١٢
الفئة الثالثة	الأقصى	٨٥,٥٧٢	٩٩,٦٠١	١٢٣,٤٤٩	١٣٧,٤٧٧	١٥٠,٨٠٤	١١٩,٣٨٠	٢٩
	الأدنى	٧٦,٦٩٨	٨٩,٢٧١	١١٠,٦٤٦	١٢٣,٢١٩	١٣٥,١٦٤	١٠٦,٩٩٩	١١
الفئة الرابعة	الأقصى	١٣٨,٨٨٥	١٦١,٦٥٣	٢٠٠,٣٥٩	٢٢٣,١٢٧	٢٤٤,٧٥٧	١٩٣,٧٥٦	٧
	الأدنى	١١٢,٨١٧	١٣١,٣١٢	١٦٢,٧٥٢	١٨١,٢٤٧	١٩٨,٨١٧	١٥٧,٣٨٩	١٦
الفئة الخامسة	الأقصى	١٦٤,٧٦٦	١٩١,٧٧٧	٢٣٧,٦٩٥	٢٦٤,٧٠٦	٢٩٠,٣٦٦	٢٢٩,٨٦٢	٢٣
	الأدنى	١٤٤,٧١٥	١٦٨,٤٣٨	٢٠٨,٧٦٩	٢٣٢,٤٩٢	٢٥٥,٠٣٠	٢٠١,٨٨٩	٨
الفئة السادسة	الأقصى	٢٦٥,٠٧٤	٣٠٨,٥٢٩	٣٨٢,٤٠٢	٤٢٥,٨٥٧	٤٦٧,١٣٩	٣٦٩,٨٠١	٢٧
	الأدنى	٢٣٠,٨٢٦	٢٦٨,٦٦٦	٣٣٢,٩٩٥	٣٧٠,٨٣٥	٤٠٦,٧٨٣	٣٢٢,٠٢١	٢٤

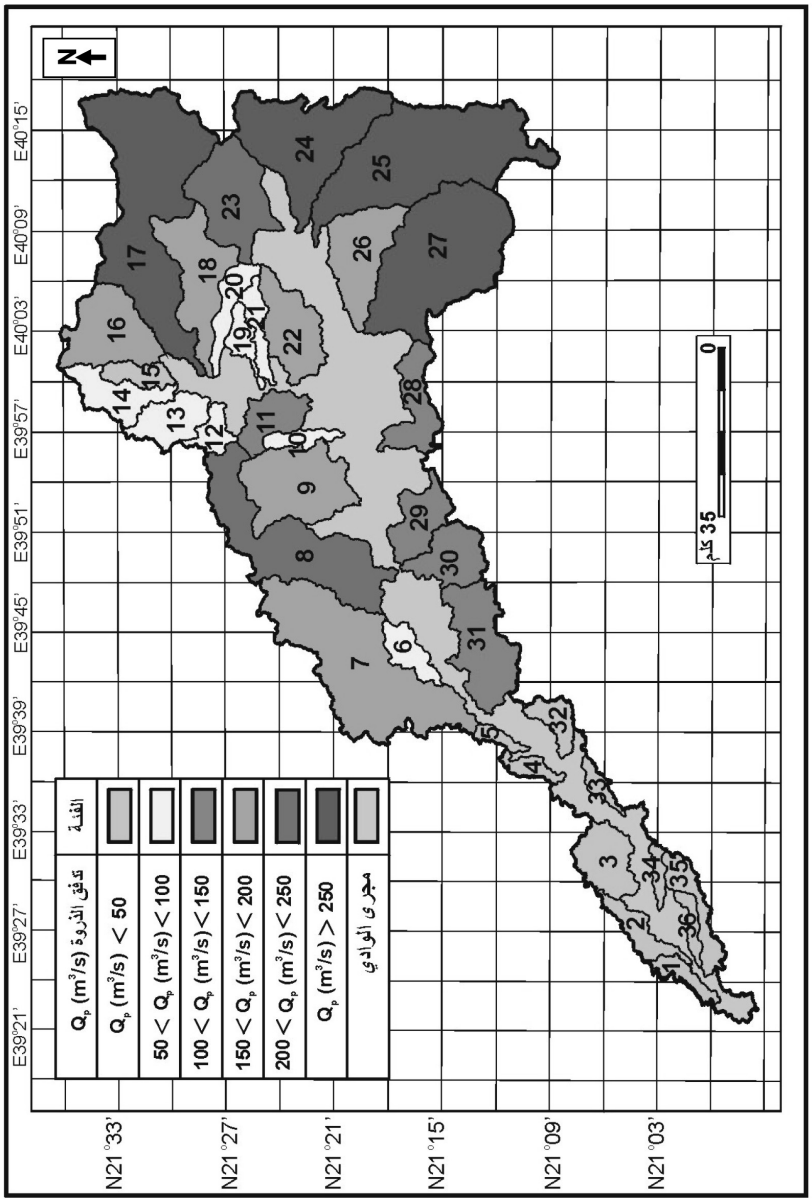
٣ – تتشكل أحواض الفئة الثالثة من ٥ أحواض رافدة، تمتد على مساحات تصريف تراوح بين ٢٩,٣ كم^{٢} في الحوض ١١ و٣٣,٧ كم^{٢} في الحوض ٢٩. ويراوح تدفق الذروة لسيول أحواض روافد هذه الفئة بين ١٠٦,٩٩٩ م^{٣}/ثانية

و١١٩,٣٨٠ م^{٣}/ثانية في هذين الحوضين على التوالي. وتتميز هذه الأحواض بانحدارات تراوح بين ٥,٨٤٪ في الحوض ٣١، و٢٠,٢٠٪ في الحوض ٢٩، وبأطوال مجارٍ تراوح بين ١١,١٨ كم في الحوض ٣٠ و١٨,١٣ كم في الحوض ٣١.

٤ – **تتشكل أحواض الفئة الرابعة** من ٦ أحواض روافد، تمتد على مساحات تصريف تراوح بين ٦٢,٧ كم^{٢} في الحوض ١٦، و١٦٥,٨ كم^{٢} في الحوض ٧. ويراوح تدفق الذروة لسيول أحواض روافد هذه الفئة بين ١٥٧,٣٨٩ م^{٣}/ثانية و١٩٣,٧٥٦ م^{٣}/ثانية في هذين الحوضين على التوالي. وتتميز هذه الأحواض بانحدارات تتراوح بين ١٥,٤٤٪ في الحوض ٩ و٢٥,٢٨٪ في الحوض ١٨، وبأطوال مجارٍ تراوح بين ١٤,٠٠ كم في الحوض ٢٢ و٢١,٥١ كم في الحوض ١٨.

٥ – **تتشكل أحواض الفئة الخامسة** من حوضين رافدين، يمتدان على مساحات تصريف تراوح بين ٦٩,٨ كم^{٢} بالحوض ٢٣ و١١٩,٣ كم^{٢} في الحوض ٨. ويراوح تدفق الذروة لسيول هذين الحوضين بين ٢٠١,٨٨٩ م^{٣}/ثانية في الحوض ٨ و٢٢٩,٨٦٢م^{٣}/ثانية في الحوض ٢٣. ويتميز هذان الحوضان بانحدارات تراوح بين ١٥,٥٠٪ في الحوض ٨ و٣٢,٢٧٪ في الحوض ٢٣ وبأطوال مجارٍ تراوح بين ١٦,٩٩ كم في الحوض ٢٣ و٣٤,٨٢ كم في الحوض ٨.

٦ – **تتشكل أحواض الفئة السادسة** من ٤ أحواض رافدة، تمتد على مساحات تصريف تراوح بين ١٠٩,٢ كم^{٢} في الحوض ٢٤ و١٥٤,٤ كم^{٢} في الحوض ٢٧. ويراوح تدفق الذروة لسيول أحواض روافد هذه الفئة بين ٣٢٢,٠٢١ م^{٣}/ثانية و٣٦٩,٨٠١ م^{٣}/ثانية في هذين الحوضين على التوالي. وتتميز هذه الأحواض بانحدارات تراوح بين ٢٨,٩٢٪ في الحوض ١٧ و٣٩,٤٤٪ بالحوض ٢٥ وبأطوال مجارٍ تراوح بين ١٩,٨٦ كم في الحوض ٢٤ و٣٩,٩١ كم في الحوض ١٧.



الشكل (٩) – تصنيف أحواض روافد وادي عُرنة بحسب متوسط تدفق الذروة لسيول فترات الرجوع الممتدة من ٥ إلى ١٠٠ سنة

الجدول (١٢)
مصفوفة ارتباط بيرسون الخطي Pearson بين تدفق الذروة للسيول والمتغيرات الهيدرولوجية بأحواض روافد وادي عَرنة

المتغير	درجة	الانحدار (م/م)	المساحة (كم^2)	طول الحوض (كم)	زمن التركيز (ساعة)	حجم الأمطار (10^6 م^3)	حجم السيول (10^6 م^3)	زمن الاستجابة (ساعة)	تدفق الذروة (م^3/ثانية)
درجة الانحدار (م/م)	R^2	---							
	Sig.	---							
المساحة (كم^2)	R^2	٠,٥٧٥	---						
	Sig.	٠,٠١	---						
طول الحوض (كم)	R^2	٠,٥٠١	٠,٩٣٢	---					
	Sig.	٠,٠١	٠,٠١	---					
زمن التركيز (ساعة)	R^2	-٠,٣٩٠	٠,٣٥	٠,٤١٣	---				
	Sig.	٠,٠١	٠,٠٥	٠,٠١	---				
حجم الأمطار (10^6 م^3)	R^2	٠,٥٧٥	١,٠٠٠	٠,٩٣٢	٠,٣٠٥	---			
	Sig.	٠,٠١	٠,٠١	٠,٠١	٠,٠٥	---			
حجم السيول (10^6 م^3)	R^2	٠,٥٧٥	١,٠٠٠	٠,٩٣٢	٠,٣٠٥	١,٠٠٠	---		
	Sig.	٠,٠١	٠,٠١	٠,٠١	٠,٠٥	٠,٠١	---		
زمن الاستجابة (ساعة)	R^2	-٠,٤١٥	٠,٢٨٥	٠,٣٩٠	٠,٩٩٩	٠,٢٨٥	٠,٢٨٥	---	
	Sig.	٠,٠١	٠,٠٥	٠,٠١	٠,٠١	٠,٠٥	٠,٠٥	---	
تدفق الذروة (م^3/ثانية)	R^2	٠,٨٠٩	٠,٩١٤	٠,٧٩٨	٠,٠٠٢	٠,٩١٤	٠,٩١٤	-٠,٠٢٢	---
	Sig.	٠,٠١	٠,٠١	٠,٠١	٠,٤٩٦	٠,٠١	٠,٠١	٠,٤٥٠	---

ويتأثر متوسط تدفق السيول بأحواض الروافد المدروسة بمساحة التصريف وبحجم الأمطار وبطول الحوض، أكثر من تأثره بانحدار الحوض وبزمن التركيز، كما تعكسه قيمة معامل الارتباط لبيرسون Pearson's correlation التي بلغت بين حجم السيول من جهة، والتغيرات المذكورة من جهة ثانية على التوالي: ١,٠٠٠ و١,٠٠٠ و٠,٩٣٢ و٠,٥٧٥ و٠,٣٠٥ عند مستوى الدلالة (الأهمية) ٠,٠١ (الجدول ١٢).

الخاتمة:

لقد أظهرت هذه الدراسة إمكانية تعرف أحواض الروافد الأكثر قدرة على تحويل مياه الأمطار إلى مياه جارية سطحية عادية، أو مياه سيول غزيرة عن طريق تصنيف هذه الأحواض بواسطة قيم التدفق اليومي الأقصى للسيول المحسوب بواسطة نموذج SCS Dimensionless Unit Hydrograph، الذي يعتمد في حساباته على قيم كميات الأمطار اليومية القصوى.

وقد اتضح من خلال تقدير قيم التدفق اليومي الأقصى للسيول المحسوب بهذا النموذج وبمتوسط كميات الأمطار اليومية القصوى المسجلة في محطات الفرين وحرة الجديدة والشفا ومنتصف الهدى والطائف ووادي محرم – أن أحواض الروافد المدروسة تتباين من حيث قيم التدفق اليومي الأقصى للسيول، كما تتباين من حيث خصائصها التضاريسية والمورفومترية؛ بحيث نجد أن أكثر هذه الأحواض قدرة على تحويل مياه الأمطار إلى مياه تدفق سيلي غزير، هي الأحواض: ١٧ و٢٥ و٢٧.

فمن حيث حجم الأمطار نجد أن هذه الأحواض تتسم بأعلى كميات لحجم الأمطار وبمتوسط يفوق ١٣ مليون م^{٣} لفترات الرجوع الممتدة من ٥ إلى ١٠٠ سنة. وتمتد هذه الأحواض على إجمالي مساحة تصريف تبلغ ٥٢٤,٦ كم^{٢} أي ما يعادل ٢٢,٩٪ من إجمالي مساحة التصريف لحوض وادي عُرنة. وتفوق مساحة التصريف بهذه الأحواض ١٥٤ كم^{٢} وهي تراوح بين ١٥٤,٤ كم^{٢} في الحوض (٢٧) و١٩٦,٢ كم^{٢} في الحوض (١٧).

وتتميز هذه الأحواض بمتوسط زمن تركيز يتراوح بين ٢,٠٣ ساعة في الحوض (٢٧) و٢,٧٤ ساعة في الحوض (١٧) وبمتوسط زمن وصول التدفق للذروة يراوح بين ١,٤٨ ساعة في الحوض (٢٧) و١,٩٩ ساعة في الحوض (١٧).

أما من حيث حجم السيول نجد أن هذه الأحواض تتسم بأعلى كميات لحجم السيول وبمتوسط يفوق ٢,٥ مليون م^{٣} لفترات الرجوع الممتدة من ٥ إلى

١٠٠ سنة ويبلغ على ٢,٦٢٤ و٢,٩٥٨ و٣,٣٣٦ مليون م^{٣} في الحوض ٢٧ و٢٥ و١٧ على التوالي. وبالنسبة للتدفق الأقصى للسيول نجد أن هذه الأحواض تتسم بأعلى كميات للتدفق الأقصى للسيول، وبمتوسط تدفق يفوق ٣٤٨ م^{٣}/ثانية لفترات الرجوع الممتدة من ٥ إلى ١٠٠ سنة ويبلغ ٣٤٨,٢٦١ و٣٦٩,٧٧٧ و٣٦٩,٨٠١ م^{٣}/ثانية في الأحواض ١٧ و٢٥ و٢٧ على التوالي. وتتسم هذه الأحواض بخصائص تضاريسية تساعد على سرعة تحويل مياه الأمطار إلى مياه جارية سطحية ومياه سيول غزيرة؛ كونها تمتد على مساحات تصريف تفوق ١٥٤ كم^{٢} تراوح بها أطوال المجاري الرئيسة بين ٢٣,٦ كم في الحوض ٢٧ و٣٩,٩ كم في الحوض ١٧، وتجري بها شبكة مائية على سفوح يراوح متوسط انحدار سطحها بين ٢٨,٩٪ في الحوض ١٧ و٣٩,٤٪ في الحوض ٢٥.

التوصيات:

وبناءً على ما تقدم، فإن هذه الدراسة تقدم جملة من التوصيات المهمة:

١ – توسيع مثل هذه الدراسات إلى الأحواض المائية المجاورة؛ لتحديد أحواض الروافد الأخرى المؤثرة أيضاً على المناطق العمرانية ولا سيما البقاع المقدسة وما جاورها.

٢ – إضافة محطات جديدة لقياس الأمطار عند منابع أحواض الروافد الأكثر قدرة على تحويل مياه الأمطار إلى مياه جريان سطحي، خاصة أحواض (١٧) و(٢٤) و(٢٥) و(٢٧)؛ للحصول على قياسات دقيقة ومنتظمة للأمطار اليومية القصوى تمكن من متابعة نظام تساقط الأمطار بدقة عالية.

٣ – إنشاء قاعدة بيانات جغرافية وجيومورفولوجية وهيدرولوجية لإجمالي مساحة التصريف لحوض وادي عُرنة تعتمد على الدراسات التفصيلية على مستوى أحواض الروافد، باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد.

٤ – إنشاء محطات هيدرومترية على مصبات أحواض الروافد العليا (١٦) و(١٧) و(٢٣) و(٢٤) و(٢٥) و(٢٧)، تساعد في معايرة النتائج المتحصل عليها في هذه الدراسة بقياسات فعلية للتدفق اليومي الأقصى وتساهم في تحديد احتمالية حدوث السيول وتكرارها.

٥ – إنجاز خرائط جيومورفولجية تفصيلية للانحدار، ودرجة نفاذية الصخور وأشكال التعرية المائية، وكثافة التصريف تساعد في تحديد المناطق الأكثر عرضة لمخاطر السيول الغزيرة؛ من أجل أخذ الاحتياطات الضرورية والتدابير اللازمة تجاه خطورتها.

٦ – إجراء الدراسات الجيوفيزيائية لاختيار أنسب المواقع لإنشاء سدود مائية على مصبات الروافد العليا (١٦) و(١٧) و(٢٣) و(٢٤) و(٢٥) و(٢٧)؛ لأجل تعطيل التدفق السيلي باتجاه المصب الذي تغطيه مساحات عمرانية كبيرة قد تتعرض لكثير من مخاطر السيول ومن ثم الحد من خطورتها من جهة، والاستفادة من الموارد المائية السيلية من جهة ثانية.

المراجع

أولاً – المراجع العربية:

- الأحمدي، فهد سالم. (٢٠٠٥). **نمذجة السيول في المناطق الجافة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، دراسة حالة المنطقة الجنوبية الغربية للمملكة العربية السعودية**. رسالة ماجستير رقم البحث GSP-12-65. كلية الأرصاد والبيئة وزراعة المناطق الجافة. جامعة الملك عبدالعزيز. جدة. المملكة العربية السعودية.
- آل سعود، مشاعل محمد؛ الهنائي، خطاب؛ بوروبة، محمد؛ خندكار، ناصر؛ عاصف خان، محمد؛ العريفي، فهد. (٢٠٠٤). **دراسة مخاطر السيول في وادي ضلع بالمنطقة الجنوبية الغربية للمملكة العربية السعودية**. المؤتمر الدولي الأول للموارد المائية والبيئة الجافة. من ٢٢/١٠/١٤٢٥هـ (٥/١٢/٢٠٠٤م) إلى ٢٥/١٠/١٤٢٥هـ (٨/١٢/٢٠٠٤م). مركز الأمير سلطان لأبحاث البيئة والمياه والصحراء. جامعة الملك سعود. الرياض.
- البارودي، محمد السعيد. (١٩٨٦): **الميزانية المائية لحوض وادي فاطمة**. سلسلة رسائل جغرافية. العدد ٨٨. الجمعية الجغرافية الكويتية. جامعة الكويت.
- بامفلح، سمير بن محمد أحمد. (٢٠٠٢). **الاستخلاص التلقائي للأحواض والمجاري المائية لبعض الأودية في منطقة مكة المكرمة**. رسالة ماجستير. كلية الأرصاد والبيئة وزراعة المناطق الجافة. جامعة الملك عبدالعزيز. جدة. المملكة العربية السعودية.
- البلادي، عاتق بن بخيت. (١٩٨٤): **أودية مكة المكرمة**. (مع ثلاثة ملاحق). دار مكة للطباعة والنشر والتوزيع. مكة المكرمة. المملكة العربية السعودية.
- البليهد، عبدالرحمن سعود عبدالله. (١٩٩٢): **الجريان السيلي في أودية**

إقليم عسير الرئيسية. سلسلة رسائل جغرافية. العدد ١٤٧. الجمعية الجغرافية الكويتية. جامعة الكويت.

- بوروبة، محمد بن فضيل. (٢٠٠٢). **الخصائص المورفومترية لحوضي وادي عركان ووادي يخرف رافدي وادي بيش بالمملكة العربية السعودية: دراسة تطبيقية مقارنة**. بحوث جغرافية. سلسلة محمكة غير دورية (٥٣). الجمعية الجغرافية السعودية. جامعة الملك سعود. الرياض. المملكة العربية السعودية.
- بوروبة، محمد فضيل. (٢٠٠٧). **دراسة هيدرومورفومترية لتقدير حجم سيول حوض وادي عتود بالمملكة العربية السعودية**. سلسلة الإصدارات الخاصة. العدد ٢١. السنة ٣٣. مركز دراسات الخليج والجزيرة العربية. مجلس النشر العلمي. جامعة الكويت. محرم ١٤٢٧هـ (فبراير ٢٠٠٧م).
- بوروبة، محمد فضيل؛ الجعيدي، فرحان الحسين. (٢٠٠٦). **تقدير تدفق الذروة للسيول بحوض وادي العين بمحافظة الخرج في المملكة العربية السعودية**. مركز بحوث كلية الآداب. العدد ١٢١. عمادة البحث العلمي. جامعة الملك سعود.
- الجراش، محمد العبدالله. (١٩٨٢). **العلاقة بين الأمطار والسيول في جنوبي غرب المملكة العربية السعودية: دراسة تطبيقية على حوض وادي بيشة وحوض وادي بيش**. مجلة كلية الآداب والعلوم الإنسانية. المجلد الثاني. جامعة الملك عبدالعزيز. ص ص ١٧٥–١٩٩.
- الجعيدي، فرحان الحسين. (٢٠٠٥)، **استخدام صور الاستشعار عن بعد الرقمية عالية الوضوح المكاني لتحديد امتداد فيضانات السيول في سهل الخرج**. سلسلة بحوث جغرافية. العدد ٧١. الجمعية الجغرافية السعودية. قسم الجغرافيا. جامعة الملك سعود.
- الجعيدي، فرحان الحسين. (٢٠٠٨). **الخصائص الهيدرومورفومترية**

وخصائص السيول في أحواض السدود المقترحة على أودية علية في محافظة الخرج. سلسلة بحوث جغرافية. العدد ٨٤. الجمعية الجغرافية السعودية. قسم الجغرافيا. جامعة الملك سعود.

- رفاعي، علي أحمد أحمد. (٢٠٠٦). **سد وادي جازان**. الندوة السعودية الأولى لإدارة وتشغيل السدود في المملكة العربية السعودية. وزارة المياه والكهرباء. المملكة العربية السعودية.

- الزهراني، أفراح بنت أحمد علي. (٢٠٠٧). **مخاطر السيول على سلامة الحجاج بمشعر منى – مكة المكرمة**. رسالة ماجستير مقدمة لقسم الجغرافيا. كلية الآداب والعلوم الاجتماعية. جامعة الملك عبدالعزيز. جدة. المملكة العربية السعودية.

- الزهراني، محمد إبراهيم؛ الحارثي، سعد؛ الهوساوي، هاشم خيمي. (٢٠٠٨). **دراسة مخاطر الفيضانات المحتملة في مناطق السهل الفيضي لوادي قنونة**. كتاب ندوة إدارة الكوارث وسلامة المباني في الدول العربية. الجزء الأول: الكوارث الطبيعية وغير الطبيعية. وزارة الشؤون البلدية والقروية. الإدارة المركزية للمشروعات التطويرية. الرياض ٢١–٢٤ ربيع الأول ١٤٢٩هـ الموافق ٢٩ مارس – ١ أبريل ٢٠٠٨م. ص ص ٦٨٩–٧٠٤.

- عبدالرزاق، محمد جميل صالح. (١٩٩٥). **تقييم كميات السيول وآثارها في المنطقة الجنوبية الغربية من المملكة العربية السعودية**. رقم البحث ARP-10-51. بحث مدعوم من مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية. الرياض.

- مرزا، معراج بن نواب؛ البارودي، محمد بن سعيد. (٢٠٠٥). **السمات المورفولوجية والخصائص المورفومترية والهيدرلوجية لأودية الحرم المكي**. مجلة جامعة أم القرى للعلوم التربوية والاجتماعية والإنسانية.

عدد خاص بمناسبة اختيار مكة المكرمة عاصمة للثقافة الإسلامية لعام ١٤٢٦هـ/ ٢٠٠٥م.

ثانياً – المراجع الأجنبية:

- Al-Harbi, O., A., Al-Amri, A., Al-turbak, A., S., Sheikho, K., and Al-Abdulaaly, A. (1997). *An Investigation of the geophysical and hydrogeological characteristics of the NW Part of Al-Madinah area*, Final Report of Project No. (AR-15-05), King Abdulaziz City for Science and Technology, Riyadh, Saudi Arabia.
- BEI- ERE. (2006). *Etude hydrologique des bassins versants de la rivière des Fleurs Jaunes du cirque de Salazie (France)*. <http://mmf.enseeiht.fr/travaux/CD0607/beire/1/html/projet_prise_-d_eau_etude_hydro.html>.
- Bokhari, A., Y. (1988). *Hydrological investigation in Western Al-Madinah Quadrangle*, Kingdom of Saudi Arabia on the Basis of LANDSAT Thematic Mapper Data, J. Berliner Geowiss, Abh, vol. 10, pp. 113-135.
- Bokhari, A., Y. (1991). *Hydrological investigation in East of Al-Madinah, Saudi Arabia on the basis of LANDSAT Thematic Mapper Data*, Berliner Geowiss, Abh.(C) band vol. 12, pp. 97-105.
- Chow, V. T. (1951). *A general formula for hydrologic frequency analysis*, Trans. Amer. Geophys. Union, Vol. 32, pp. 231-237.
- Gatimel, A. and Pons, A. (2000). *Etude hydrologique du basin versant du Salix*, Science de l'eau et de l'environement, http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD9900/travaux/optsee/bei/913/pa05.htm#etc.
- Jhonstone, D. and Cross, W.P. (1949). *Elements of applied hydrology*, New York. (275 pp).
- Kirpich, Z.P. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds, Civil Engineering, (New York), vol 10, no. 6, p 362.
- Moore, T.A., and Al-Rehaili, M.H. (1989). *Geologic map of the Makkah Quadrangle*, sheet 21D, Kingdom of Saudi Arabia: Saudi

Arabian Directorate General of Mineral Resources Geoscience Map GM-107, Scale 1:250,000, with text, 62p.

- Sorman. Ali, U. (1993a). *New trends in stochastics modeling for hydrologic data analysis, JKAU: Met., Env.,Arid Land Agric. Sci., Vol 4, pp 95-100.*
- Sorman. Ali, U. (1993b). *Application of the TR-55 model to mtorms in arid climate case study: Upper Tabbalah, The kingdom of Saudi Arabia, JKAU: Met., Env.,Arid Land Agric. Sci.,* Vol 4, pp 101-109.
- Sorman. Ali U and Qari, M. (1994). *Estimation of flood peak using remote sensing techniques; Case study: Wadi Itwad, Southwestern Saudi Arabia, JKAU: Met., Env.,Arid Land Agric. Sci., Vol. 5, pp 161-177.*
- U.S. Corps of Engineering. (2016). *Time of concentration of drainage basins*, Institute for Water resources, Hydrologic Engineering Center, < http://www.iwr.usace.army.mil/.
- Viessman, W. Jr. and Lewis, G.L. (2002), *Introduction of hydrology*, 4th Edition, Harper and Row, Publishers, New York.

Estimating the Peak Dischange of Wadi Uranah Basin Dmainge "Saudi Arabia"

Prof. Mohammad F. Bourouba

Abstract:

Objective of the Study: This study aimed to estimate the peak flow of Wadi Uranah tributary basins by applying the SCS Dimensionless Unit Hydrography model. This model depends on the rainfall for the return periods from 5 to 100 years and the relief and morphometric variables of 36 tributary basins with areas ranged between 8.74 km^2 in the tributary basin (33) and 196.2 km^2 in the tributary basin (17). The relief and morphometric variables were determined using the WMS digital processing output and satellite imagery available on Google Earth and the ASTER Digital Elevation Model. However, this study seeks to classify tributary basins using the discharge peak average of return periods 5, 10, 25, 50 and 100 years.

Study Methodology: The methodology of this study was based on the application of the Normal and EV-1 probability Distribution models in the frequency analysis of maximum daily rainfall using rain data for five stations belonging to the Ministry of Environment, Water and Agriculture. The estimation of the discharge peak for the studied tributary basins was based on estimating the maximum daily rainfall, the peak of the maximum flow and concentration time.

Study Data: This study relied on the ERDAS 9.3 software for satellite image processors mainly to analyze the 12 satellite images (Scenes) of the study area in Makkah Al-Mukarramah in addition to the Digital Elevation Models of the Japanese-American scientific satellite (ASTER GDEM) with the resolution of 30 m in determining the darinage area of the Wadi Uranah basin. The WMS (Watershed Modeling System) software has been used to treat Digital Elevation Models and to perform calculations of morphometric and hydrological variables.

The Results of the Study: The results fo this study showed that the most tributary basins capable of convering rain water into floods water are basins: 17, 25 and 27 that extend over a total drainage area of 524.6 km^2, equivalent to 22.9% of the total drainage area of the Wadi Uranah watershed. These

basins are characterized by the highest rain volume with an avergae of more than 13 million m^3 and the highest flood volume with an average of more than 2.5 million m^3 and the highest maximum flow with an average of discharge peak exceeds $348m^3/s$, for the perdios from 5 to 100 years..

Conclusion: This study was concluded with the results produced by the different applied methodological steps and different results of discharge peak estimation in the total of 36 tributary basins for Wadi uranah using the SCS Dimensionless Unit Hydrograph model.

Keywords: Maxmimum Daily Rainfall, Frequency Analysis, Tributary Basin, SCS DUG Model, Discharge Peak, Wadi Uranah Watershed, Saudi Arabia.

أ. د. محمد فضيل بوروبة، حاصل على درجة الدكتوراه في الجيومورفولوجيا الديناميكية من جامعة مارسيليا (فرنسا) في عام ١٩٨٨، ويعمل حالياً في شركة البعد المطور لتقنية المعلومات، الرياض. الاهتمامات البحثية: المناخ التطبيقي، الهيدرولوجيا، الخرائط، النمذجة الجيومورفولوجية، التحليل الإحصائي.

(boroba2014@hotmail.com)