التحليل الهيدرومورفومتري وتقدير حجم السيول في حوض وادي الوطاة بمنطقة القصيم

د. أحمد عبد الله الدغيرى
قسم الجغرافيا – كلية اللغة العربية
والدراسات الاجتماعية
جامعة القصيم

أ. د. حمدينه عبد القادر العوضى
قسم الجغرافيا – كلية اللغة العربية
والدراسات الاجتماعية
جامعة القصيم

التحليل الهيدرومورفومتري وتقدير حجم السيول في حوض وادي الوطاة بمنطقة القصيم

د. أحمد عبد الله الدغيري
قسم الجغرافيا كلية اللغة العربية والدراسات الاجتماعية
جامعة القصيم

أ. د. حمدينه عبد القادر العوضى
قسم الجغرافيا – كلية اللغة العربية والدراسات الاجتماعية
جامعة القصيم

ملخص الدراسة :

تستقبل منطقة القصيم أمطاراً غزيرة في بعض السنوات، وتنشط على أثرها الأودية وتفيض بكامل طاقتها، وتشكل حينئذ خطرا حقيقيا على العمران والطرق وبعض المنشآت التي تقع في طريقها، ويعد وادى الوطاة واحدا من أودية القصيم القادرة على تحويل الأمطار إلى سيول، وهذا ما تكرر حدوثه بالفعل في سنوات خلت، في وقت كان يصرف وادى الوطاة مياهه إلى وادى الرمة، غير أنه بات يشكل خطورة بعدما تعرض مجراه الأدنى لغزو رملي تحت تأثير فعل الرياح، وأغلق المجرى، كما أن النطاق العمراني لمدينة بريدة اتسع في اتجاه الشمال والشرق وأصبح يشغل جزءا من مجرى الوادي، وبالتالي فإن الدراسة الهيدرومورفومترية لتقدير أحجام السيول التي يدفعها وادى الوطاة في أعقاب سقوط الأمطار باتت ضرورية للوقوف على مدى خطورته، وتمكين المسؤولين وأصحاب القرار من اتخاذ تدابير تجنب المدينة هذه الأخطار، وبحث سبل الاستفادة بهذه المياه. واعتمدت هذه الدراسة على نموذج سنايدر Snyder's Model، وكذلك نموذج الهيئة الأمريكية لحماية التربة Soil Conservation Serves (SCS) في حساب قيم الهيدروجراف القياسي لحوض الوادي، وتم استخدام قيم الهيدروجراف القياسي وتنسيقاته Unit hydrographic ordinates في حساب متغيرات وقيم هيدروجراف السيول (هيدروجراف العاصفة) Storm hydrograph، بناء على البيانات الفعلية لأقصى كميات مطر يومية سجلتها محطة بريدة في مدة ٤٥ سنة (الفترة من ١٩٦٥-٢٠٠٩)، وبناء على أقصى كمية مطر يومية يحتمل سقوطها على الحوض في فترات الرجوع المختارة (٥، ١٠، ٢٥، ٥٠، ١٠٠ سنة) بغرض حساب أو تقدير أحجام المياه التي يدفعها الوادي عبر مخرجه (مصبه) في هيئة سيول وأظهرت الدراسة أن تدفق الذروة في وادى الوطاة المحسوب بنموذج سنايدر (Snyder's Model) في فترات الرجوع المختارة (٥، ١٠، ٢٥، ٥٠، ١٠٠ سنة) يبلغ ٣,٢٦ م٣/الثانية، ٣٨,٥٦ م٣/الثانية، ١٦٦,٥٨ م٣/الثانية، ٣٣١,٦٧ م٣/الثانية، ٥٦٠,٠٤ م٣/ الثانية على التوالي، بينما يبلغ تدفق الذروة في وادى الوطاة المحسوب بنموذج الهيئة الأمريكية لخدمة صيانة التربة (SCS's Model) في فترات الرجوع المشار إليها ١,٥٨ م٣/الثانية، ١٨,٦٥ م٣/الثانية، ٨٠,٥٨ م٣/الثانية، ١٦٠,٤٣ م٣/الثانية، ٢٧٠,٩٠ م٣/الثانية على التوالي.

الكلمات المفتاحية: الهيدروجراف القياسي، هيدروجراف العاصفة، خط تقسيم المياه، الدراسة المورفومترية، الدراسة الهيدرولوجية.

المقدمة:

تشكل الأحواض الصحراوية المغلقة في أواسط المملكة العربية السعودية ظاهرة جغرافية فريدة هي غاية في الأهمية، ذلك لأنها تمثل مجامع مياه السيول وصرف الأودية، في بيئة هي أشد ما تكون شحيحية بمواردها المائية الجارية، فضلا عن ماهيتها القديمة التي كانت تشكل نظام هيدرولوجيا غنيا بموارد متعددة، ويشكل حوض وادي الوطاة الوقع بمنطقة القصيم أحد نماذج تلك الأحواض التي شهدت في الآونة الأخيرة نماذج لسيول وفيضانات عارمة، خاصة في حوضه الأدنى لكون بيئته تحوي نماذجا لمحلات عمرانية وأراضٍ فلاحية تتحلق حول مجراه لم يراعي فيها صاحب القرار المنفذ ماهية الشبكة الهيدرولوجية وظروف المنطقة الجيومورفولوجية. تشير بعضا من الدراسة المنجزة والحوادث التاريخية أن هذا الوادي خلال أعوام سابقة شهد فيضانات عالية المستوى ، حلت بحوضه فقد شهد الحوض قبل 10.000 سنة فيضانً فجائياً عم حوضه بل أغلب جهات القصيم، ودام فترات زمنية طويل بل لم يقتصر الأمر على ذك، ففي فترة الهولوسين الجافة لم يخل الحوض من فيضانات كارثية فجائية موسمية، فقد فاض في حوضه الأدنى وشهدت الأراضي شمال وشرق بريدة سيل عرم غُمرت على أثره كثيراً من المنخفضات، وفي الزمن المعيش تحديد عام ٢٠٠٨ شهد الحوض سيل عرم جرف فيها الوادي عدد من الأرضي الفلاحية وغُمرها فيها عدد كبير من المساكن والطرقات في القصيم وفي بريدة خاصة.

تهدف هذه الدراسة إلى ثبت الشبكة الهيدرولوجية في حوض وادي الوطاة من خلال الماسح الراداري للتضاريس SRTM، على جانب أخر

ستركز الدراسة على تحليل الخصائص المورفومترية للحوض، بالإضافة إلى استخدام المعادلات والنماذج الرياضية كنموذج هيدروجراف السيول للعالم Snyder ونموذج SCS Dimensionless Unit Hydrograph، تمهيدا لدراسة زمن تركيز و ذروة الدفق السيلي المناسب لنموذج Snyder ونموذج SCS في الحوض المذكور، وذلك كمساهمة علمية فاعلة تفيد المخطط وتثري الدراسات الجيومورفولوجية و الهيدرولوجية في المملكة العربية السعودية وذلك للوقوف على إمكاناتها المائية، وبحث سبل الاستفادة منها، وحماية المنطقة من الاخطار السيلية.

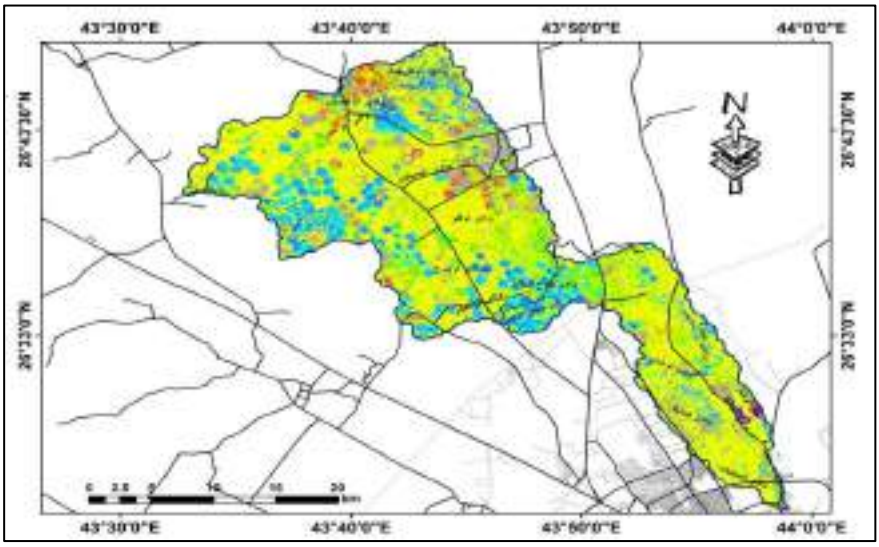
منطقة الدراسة

يقع حوض وادي الوطاة في النواحي الشمالية الشرقية من منطقة القصيم، ش/ق بريدة، ويشكل الميدان المدروس أنموذجاً فريداً لمنخفض صحراوي مورفوبنيوي متطاول يمتد من الشمال للجنوب، يترواح عرضه بين ٨٠٠ إلى ٣٠٠٠متر، يحده شرقا جرف الوطاة المنتمي لحقبة الحياة القديمة Paleozoic، ويقطعه أحد أطول وأعظم أودية القصيم والمعروف باسم وادي الوطاة، بطول يجاوز ٦٥كم، و هو بهذا الطول يعد وادياً تالياً للسطوح الانفصام البرمية الترياسية، وينصرف إليه مجموعة كثيرة من الروافد الموافقة الثانوية وقليل من روافد عكسية. تبدأ منابعة بشبكة ممتدة من مجار وقنوات وشحاح مائية موسمية في الجهة الشرقية من الهضاب الكلسية الممتدة بالقرب من عيون الجواء، و مرتفعات الوطاة، في حين تنحدر أوديته الرافدة الغربية من رياض البستين وروضة أم قبر، أم حزم، طلاح الحماد، أبا العشر و جبارة، تتسم قنوات الوادي في هذه الاجزاء بضيقها وكثرة ترافدها، بعدها وعند خارة

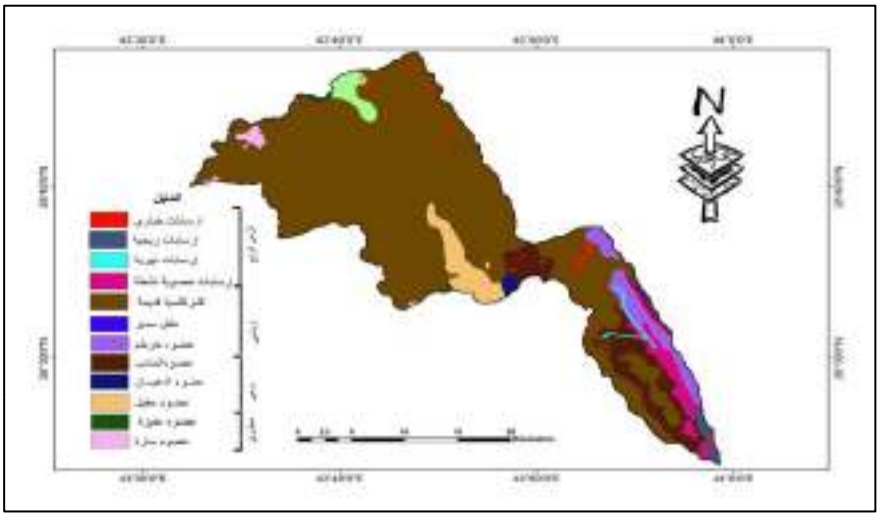
الوطاة ("E43° 54' 52 52"-N 26° 32' 40") يسيل الوادي وسط حوض متطاول يعرف باسم قاع الوطاة مشكلا قناة جريان عظيمة تحفها سهول فيضية واسعة هي في الأغلب تعكس فترات جريان وفيضان الوادي خلال بعض من فترات البلايستوسين و أوائل الهولوسين كما أشار لذلك (Aldughairi,2011). بعدها ينحرف الوادي ناحية الجنوب الشرق حتى يندثر بفعل رمال نفود النقع شرقا، وفي حين أخر تبتر أجرائه الغربية بفعل المخططات العمرانية للأحياء الشمالية والشرقية لمدينة بريدة، وفي الأغلب فإن الوادي بعد هذه الرمال يبدأ يترنح ويتغير مجراه مشكلا سطوحاً طينية (روضة المتنيات، القاع البارد) تحصر بينها كثبان رملية طولية، وفي هذه الاجزاء يلاحظ أن الوادي حاول أن يتصل الوادي بمصبه وادي الرمة، إلا أن الجفافات العاتية والقديمة كانت بمثابة حائلاُ يمنعه في بعض الفترات الرطبة من مواصلة سيلانه ناحية مصبه المذكور (الدغيري ، ٢٠١٢).(الشكل رقم ١).

تتألف الخصائص الصخرية في محيط الحوض من إرسابات حقب الحياة القديمة والمتوسطة والرباعية، ففي أعالية ناحية المنابع تتكشف في غربية إرسابات مجموعة بريدة العائدة إلى العصر الكربوني Carbon فترة (جواد لوبي Guadalupian)، وهي إرسابات كلسية ودلوماتية تتخللها بقايا ونثار جذور وجذيريات واشجار متحجرة بالإضافة إلى عقديات كلسية، يليها شرقا حزام ممتد من الشمال ناحية الجنوب يتمثل بإرسابات عصر البرمي المتأخر والأوسط Late\Middle Permian وهي مندرجة ضمن مجموعة أكلاس بريدة التي تتمثل بالأعضاء الصخرية التالية: عضو خرطم الكلسي الدومايتي الطيني بسمك يصل نحو ٤٢ متر في المكشف المثالي، يليه عضو المذنب الطيني السلتي

والدلومايتي بسمك يصل نحو ٦٠متراً في المكشف المثالي، و يعود لفترة (جواد لوبي و ميسيسبي Guadalupian to Mississpian) من فترة الترياسي الاسفل. يليه شرقا عضو الدهيسان الدولوميتي بسمك يصل نحو ٢٨متراً، وتتضمن إرساباته أحافير تعود لفترة (جواد لوبي Guadalupian). وإلى الشرق منه يظهر عضو حقيل الكلسي الأنهدريتي والدلومايتي بسمك يصل نحو ٣٨متراً (Manivit et al., 1986) ، وفي أقصى الحواف الشرقية للحوض تظهر إرسابات العصر الترياسي الأدنى Early Triassic والمتمثلة بتكوين سدير العائد لفترة السيثين Scythian، و يغلب عليه الطفل الاحمر المختلط برواسب الجبس والكلس وكتل من الدولومايت، ويحوي المتكون على بعض أثار لمنخريات قاعية Foraminifera، (الشكل ٢).



الشكل رقم ١ : الشكل والامتداد لحوض الوطاة وبعده المكاني عن الطرق والامتداد المجالي لمدينة بريدة



الشكل رقم ٢ : خارطة جيولوجية لحوض وادي الوطاة، وتظهر خلالها مكاشف التكوينات الجيولوجية

و يسود في أجزاء واسعة من حوض وادي الوطاة إرسابات الزمن الرابع، وهي تتمثل بكثبان طولية تتراوح ارتفاعاتها بين ٢٠- ٥٠متراً، بالإضافة لأوشحة رملية ونباك ، وفي الحدود المجالية لمجرى وادي الوطاة تمتد إرسابات نهرية طمية و سلتية أغلبها ترجع لفترة ١٠ آلاف سنة الماضية. ويمتد في أغلب الأجزاء الشمالية والوسطي من الحوض قشر كلسية متصخرة، وهي قديمة جداً(الدغيري.٢٠٠٣) (الشكل رقم ٢).

كما يسود في حوض وادي الوطاة نماذج متعددة من ترب قديمة، ففي وسطة وشماله وكذلك شرقه تظهر ترب طمية من نوع كالسي أورثيدز، في حين يمتد في هوامشه الغربية ترب من نوع كالسي أورثيدز حصوية، كما يحوي جنوبه على إرسابات ريحية تندرج ضمن تربه توري سامنت.

الكساء النباتي في الحوض متنوع منه الحولي مثل الحواء Launaea capitata، البسباس Anisosciadlunl isosciadium، الأقحوان Anthemis spp، والتي يقتصر نموها وإزدهارها على فصل الربيع وتزداد كثرة في الخباري والرياض الشمالية من الحوض، النمط الأخر من الاغطية النباتية نمط النباتات الدائمة، ومن أمثلتها الاثل Tamarix Artculata والطرفاء Tamarix aucheriana والعشر Calotopis procer والسدر Ziziphus والطلح Acacia. على جانب أخر يسود في الحوض أراضٍ فلاحية عمل مستوطن الحوض على استصلاحها واستزراعها كمزارع للبرسيم أو النخيل وكذلك زراعة القمح خاصة في شماله ووسطه.

يندرج الحوض ضمن مناخ الأقاليم الصحراوية القاحلة، ويخضع لمؤثرات الرياح الشماليه الجافة والتي يتحكم فيها بشكل رئيس من قبل أنظمة الضغط الجوي المرتفع الذي تتعرض له منطقة غرب آسيا، الأمر الذي معه انعدم التهطال في أشهر الصيف (يونيو ويوليو وأغسطس)، في حين قصر بعضا منها على أشهر الشتاءً (ديسمبر ويناير و فبراير) بفعل تأثيرات البحر المتوسط الرطبة وكذلك فصل الربيع (مارس وأبريل) لكن التهطالات في الحوض إجمالا هي ذات معدلات قليلة. و فيما يتعلق بالمعدل الحراري السنوي نجد أنه يصل إلى (٣٠م°) صيفا، وينخفض حتى يصل إلى الصفر مئوي شتاء.

* * *

منهج وتقنيات البحث

١- العمل الميداني:

لا تبدو الشبكة الهيدرولوجية في حوض وادي الوطاة واضحة بكل معالمها، والظاهر منها شعاب ونواشغ وشحاح في منابعة العليا، وقليل من تلك الاودية الموافقة الثانوية والهابطة ناحية المنخفض، أما بقية الأجزاء الجنوبية والغربية من الحوض فلا تجد أثر إلا ما ندر، فالمطمور كثير والمبتور أكثر، وهذا الطمر وذلك البتر كان إثر عاملين: الأول عامل الذرو الريحي الحديث إضافة لذرو الريحي خلال الدورة الجافة التي حلت بالحوض إبان الجفاف خلال أواسط الهولوسين والذي شهده القصيم بعامة قبل ٥ ألاف سنة (الدغيري ٢٠١١)، العامل الأخر هو العامل البشري والذي ما فتي فيه المستثمر عن الدفن بغرض الاستثمار الفلاحي أو التخطط بغرض الاستثمار السكني خاصة وأن الحوض يقع في واجهة الامتداد العمراني لأكبر محلة بالقصيم وهي بريدة. من هناء كان للعمل الميداني دور كبير في تحديد وثبت المجار والقنوات النهرية القديمة، فكان العمل على مرحلتين: الاولى كانت عام ٢٠٠٨م حيث تم فيها استقطاع عينات بحثية لتأريخ وتحديد جريان الوادي خلال فترة الهولوسين، المرحلة الثانية باتت ملحة بعد أن تبين للباحثان أن مجرى الوادي قد بداء مطموسا في ما يكتنف مجرها من أراضٍ فلاحية ومنشآت سكنية، هناء قام الباحثان بحصر شامل لكل ما في الحوض وتم القيام بجولات لتحديد المسارات القديمة للقنوات النهرية البائدة وتم الاستعانة بالأنموذج الراداري SRTM ومنه تم تدقيق مسارات الأودية وحذف الغير مثبت وإضافة الموجود ميدانياً.

٢- تقنيات الاستشعار عن بعد :

عمدت الدراسة لاستخلاص الشبكة الهيدرولوجية لوادي الوطاة بواسطة تحليل أنموذج (SRTM) Shuttle Radar Topograpy Mission التابع لوكالة الفضاء ناسا لعام 2000، وهو ذي وضوح مكاني ٣٠متر، ويمسح هذا الانموذج التضاريس الارضية بواسطة ردار التضاريس المحول على مكوك الفضاء إنديفور. تم تصحيح الانموذج ومعالجته واستخلاص الشبكة بواسطة المعادلات الهيدرولوجية المصاحبة لتطبيق ArcGIS والمتمثلة بـ (Toolbox - Spatial Analyst Tools- Hydrology). كما تمَّ تصنيف الاودية تبعا لطريقة اشترالر Strahler ، وتم ثبت حدود الحوض بناء على الأمر (Hydrology-Watershed)، تم الاستفادة من المخططات الهيكلية المنجزة من قبل وزارة الشؤن البلدية والقروية والمتمثلة بالمخطط الحالي للعام ٢٠١٠، والمخطط الهيكلي للأعوام اللاحقة ٢٠٢٠ و ٢٠٥٠ ، وتم ربط الشبكة بالحوض واسقاطها على مخططات السكن، الطرق، الفلاحة ، بغية بناء تصور مستقبلي للنمو العمراني والفلاحي ومدي تأثرها بالفيضان المتوقع لتفادي خطرة وتجنيب المدينة ويلات القنوات النشطة ذات السيلانات الخطرة.

٣- الخصائص المورفومترية لشبكة الصرف

تعمل وبشكل كبير على امكانية توقع الجريان السيلي ، وعليه فقد تم التحليل المورفولومتري اعتمادا على بعض المؤشرات الرياضية، فمساحة حوض وادي الوطاة ، ومساحات أحواض روافده الرئيسة استخلصت بواسطة تطبيق برمجية (ArcMap – ArcInfo. V. 10.1)، في حين تم حساب

معمل الاستدارة (معادلة رقم ١)، والاستطالة (معادلة رقم ٢)، ، وعامل الشكل(معادلة رقم ٣)، رياضيًا باستخدام المعادلات المعتمدة:

- **معامل الاستدارة :** (R_c) $\frac{4\pi A}{P^2}$ = Circularity Ratio (Miller, 1953)

(معادلة رقم ١)

حيث أن :

ثابت رياضي($\pi = 3.14$)

(A)مساحة الحوض

(B) محيط الحوض

- **معامل الاستطالة** Elongation Ratio (Re)= $\frac{\sqrt[2]{A/n}}{L_h}$ **(معادلة رقم ٢)**

حيث أن :

L_h : الحد الأقصى لطول الحوض

- **معامل الشكل** $R_F = \frac{A}{L_b^2}$: Form Factor Ratio (Horton,1932)

(معادلة ٣)

فيما يتعلق بتضاريس الحوض فقد تم اعتماد عدد من المعاملات (معادلات ٤ ، ٥ ، ٦) التي تختبر ذلك وهي على النحو الاتي :

- **التضاريس الكلية للحوض =** Z-z (Strahler,1952) (معادلة رقم ٤)

حيث أن

Z منسوب أعلى نقطة في الحوض.، z منسوب أدنى نقطة في الحوض.

- **نسبة التضاريس =** H/ Lb (Schumm,1956) (معادلة رقم ٥)

حيث أن :

H : التضاريس الكلية للحوض ، Lb : أقصى طول للحوض بحذاء المجرى الرئيسي.

- **التضاريس النسبية =** H* 100/p (Melton,1957) (معادلة رقم ٦)

حيث أن : H : التضاريس الكلية للحوض ، P طول محيط الحوض (بالمتر).

- **درجة الوعورة =** (التضاريس الكلية للحوض × كثافة التصريف) ÷ طول محيط الحوض.

- **التكامل الهبسومتري**، لا توجد طريقة محددة في حسابة ،إنما أجمالا أفضل الطرق لحسابه يتم بقسمة نسبة الارتفاع على نسبة المساحة، وعليه يتم تصمم منحنى التكامل بناء على هاتين النسبتين، ويحتسب التكامل أدني المنحنى

- **نسبة التشعب** Bifurcation Ratio : وتحسب وفقا للمعادلة (٧)

Bifurcation Ratio : $(R_b) = \frac{N\mu}{N\mu+1}$ (معادلة رقم ٧)

حيث أن :

R_b : هي نسبة التشعب، N μ : هي عدد المجاري في الرتب، N $\mu + 1$: عدد المجاري في الرتبة التي تليها

عليه فإن حساب نسبة التشعب يتم من خلال قسمة أعداد المجاري في الرتبة على عدد المحاري في الرتبة التي تعلوها.

- **كثافة التصريف** Drainage Density ويحسب وفقا لمعادلة(٨)

كثافة التصريف : (Dd) = L_μ / A (Horton . 1932)

(معادلة رقم ٨)

حيث أن :

Dd : هي كثافة التصريف ، Lμ : مجموع أطوال الأودية في كافة الرتب بالكيلومتر، A مساحة حوض التصريف بالكيلومتر.

- **تكرار التصريف النهري** Drainage Frequency : يتم الحصول عليه من خلال المعادلة (٩)

تكرار التصريف : $(Fs) = N\mu / A$ *(Horton . 1932)*

(معادلة رقم ٩)

حيث أن :

Fs : تكرار التصريف ، Lμ العدد الكلي للمجاري النهرية في جميع الترب ، A : مساحة حوض التصريف (بالكيلومتر)

٤- الدراسة الهيدرولوجية لوادي الوطاة

لإجراء دراسة هيدرولوجية تطبيقية لوادي الوطاة ؛ تم استخدام نموذج "سنايدر" Snyder's Model ونموذج الهيئة الأمريكية لخدمة صيانة التربة Soil Conservation Service (SCS) ، ومرت الدراسة بأربعة مراحل أساسية هي :

المرحلة الأولى : حساب المتغيرات اللازمة لإنشاء هيدروجراف قياسي Synthetic Unit Hydrograph باستخدام المعادلات والمعاملات الرياضية المخصصة لهذا الغرض في النموذجين المشار إليهما.

المرحلة الثانية : تصميم الهيدروجراف بناء على نتائج المعالجات الرياضية.

المرحلة الثالثة : تصميم هيدروجراف السيول (الجريان الفعلي) ، واستخراج أحجام المياه التي يدفعها الوادي عبر مصبه في هيئة سيول ، وذلك

بناء على بيانات التهطالات المطرية (أقصى كمية مطر سقطت في يوم واحد، والمتوقع سقوطها في فترات الرجوع المختارة) و التي تم حسابها بالاستعانة بالبيانات التي سجلتها محطة بريدة في الفترة من ١٩٦٥ إلى ٢٠٠٩م، أي خلال ٤٥ سنة.

المرحلة الرابعة: مرحلة تحليل ومناقشة النتائج.

المرحلة الخامسة: النتائج والتوصيات.

أولا: حساب متغيرات الهيدروجراف القياسي

Development of Synthetic Unit Hydrograph

تم حساب متغيرات المخطط المائي (الهيدروجراف) لحوض وادي الوطاة باستخدام نموذج سنايدر، ونموذج الهيئة الأمريكية لخدمة صيانة التربة، وذلك على النحو الآتي:

١- نموذج سنايدر Snyder's Model

استخدم هذا النموذج في حساب تصريف الذروة أو تصريف القمة Peak discharge، وزمن استجابة الحوض Lag time، بجانب متغيرات أخرى تستخدم في إنشاء الهيدروجراف (Ramirez, 2000 and Arora, 2004).

(١- ١)- **زمن الاستجابة**[١] (T_L) Lag Time: يحسب من المعادلة الآتية:

---

(١) زمن استجابة الحوض Lag time or basin lag: هو الفترة الزمنية الفاصلة بين ذروة هطول الأمطار، وقمة التصريف على هيدروجراف السيل (Viessman et al., 1989; Sule and Alabi, 2013)، ويتأثر زمن الاستجابة بما يتأثر به زمن التركيز Concentration time ويسيران في خطين متوازيين، فالأحواض المستطيلة هينة الانحدار تكون استجابتها بطيئة، وزمن تركيزها طويل، على العكس من الأحواض المستديرة شديدة الانحدار التي لديها المقدرة على ترجمة مياه

$$T_L = C_T(L \times L_{ca})^{0.3} \qquad (1)$$

حيث إن: T_L= زمن الاستجابة (بالساعات)، C_T= معامل يعبر عن بعض خصائص الحوض مثل الانحدار وسعة تخزين المياه Slope and storage، وتتراوح قيمته بين (١.٠- ٢.٢)، واعتمدت الدراسة لحالية على المتوسط (١.٦٠) على غرار العديد من الدراسات الهيدرولوجية التطبيقية (Arora, 2004; Salami, 2009; Sule and Alabi, 2013)، L= طول المجرى الرئيس من المصب حتى الحدود العليا للحوض (كم)، Lca= طول المجرى الرئيس من المصب حتى نقطة تقترب من مركز الثقل الحوضي (كم).

(١- ٢)- الفترة الزمنية للهيدروجراف (مدة العاصفة) Unit-hydrograph duration (storm duration) (T_R): تحسب من المعادلة الآتية:

$$T_R = \left(\frac{T_L}{5.5}\right) \qquad (2)$$

يستخدم ناتج هذه المعادلة في معايرة وضبط زمن استجابة الحوض الذى يتوافق مع الفترة الزمنية الفعلية التي تستغرقها العاصفة (فترة سقوط المطر) أو الفترات الزمنية التي يفترضها الباحث لسقوط المطر، وتقوم على أساسها الدراسة، ويتم ضبط زمن الاستجابة وحسابه من المعادلة الآتية:

$$T_{L(adj)} = T_L + \left(\frac{T_R - T_R}{4}\right) \qquad (3)$$

حيث إن: $T_{L(adj)}$= زمن الاستجابة المعدل ليوافق مدة العاصفة (مدة سقوط المطر) (بالساعات)، T_L= زمن الاستجابة (بالساعات) المحسوب من

الأمطار إلى سيول جارفة في وقت وجيز، وهنا تكمن أهمية دراسة الخصائص المورفومترية لحوض التصريف قبل الشروع في دراسته هيدرولوجيا.

المعادلة (رقم ١)، $\grave{T}_R$ = المدة الزمنية الفعلية أو المقترحة للعاصفة (ساعة، ساعتان، ثلاث ساعات)، T_R= الفترة الزمنية المحسوبة من المعادلة (رقم ٢).

(١- ٣)- قمة التصريف (الذروة) Peak Discharge (Q_P): تحسب قمة التصريف للمنحنى الهيدروجرافي من المعادلة الآتية:

$$Q_P = \frac{2.78 \times C_P \times A}{T_{L(adj)}} \qquad (4)$$

حيث إن: Q_P= ذروة أو قمة التصريف (م^3/الثانية)، C_P= معامل الجريان، وهو يعبر عن بعض خصائص الحوض، وتتراوح قيمته بين (٠,٣- ٠,٩٣) (Arora, 2004)، A= مساحة الحوض (كم^2)، $T_{L(adj)}$= زمن الاستجابة المعدل المحسوب من المعادلة (رقم ٣) (بالساعات).

(١- ٤)- زمن الأساس Base Time (Tbase): يحسب زمن الأساس للسيل أو زمن قاعدة الهيدروجراف من المعادلة الآتية:

$$T_{base} = 3 + 3\left(\frac{T_{L(adj)}}{24}\right) \qquad (5)$$

حيث إن: T_{base}= زمن الأساس (بالساعات)، $T_{L(adj)}$= زمن الاستجابة المحسوب بالمعادلة (رقم ٣) (بالساعات).

ولتصميم الهيدروجراف وضبط شكله، فإن "سنايدر" قام بحساب نصف زمن الأساس (W_{50}) وثلاثة أرباعه (W_{75})، واستخدمهما في توقيع نصف حجم المياه في قمة التصريف (٥٠٪) وثلاثة أرباعه (٧٥٪)، ويحسب نصف زمن الأساس وثلاثة أرباعه من المعادلتين الآتيتين:

$$W_{50} = \frac{5.9}{(q_p)^{1.08}} \qquad (6)$$

$$W_{75} = \frac{3.4}{(q_p)^{1.08}} \qquad (7)$$

حيث إن: W_{50} ، W_{75}= نصف وثلاثة أرباع زمن الأساس على التوالى (بالساعات)، q_p= حجم التصريف المائى لكل كيلومتر مربع من الحوض (بالمتر المكعب/الثانية) ($m^3/s/km^2$)، ويحسب هذا الحجم من قسمة حجم المياه في قمة التصريف (Q_p) (ناتج المعادلة رقم ٤) على مساحة حوض التصريف (A).

ويوضح الجدول التالى (رقم ١) نتائج تطبيق المعادلات السابقة على حوض وادي الوطاة.

جدول (١) متغيرات هيدروجرافي حوض وادي الوطاة لعاصفة أو أمطار مدتها ١ ، ٢ ، ٣ ساعات (نموذج سنايدر)

TR (hr)	*TL(adj) (hr)*	*QP m3/s*	*qp m3/s/km2*	*Tbase (hr)*	*W50 (hr)*	*W75 (hr)*
1.00	18.37	52.03	0.094	5.30	75.84	43.70
2.00	19.37	49.34	0.089	5.42	80.45	46.36
3.00	20.37	46.92	0.083	5.56	86.75	49.99

٢- نموذج الهيئة الأمريكية لخدمة وصيانة التربة

Soil Conservation Service (SCS) Model

تم تطبيق هذه الطريقة على حوض وادي الوطاة من خلال حساب حجم المياه في قمة التصريف Peak discharge، وحساب زمن الوصول إلى قمة التصريف Time to peak بالاستعانة بأبرز الدراسات التطبيقية في هذا المجال (Viessman et al., 1989; SCS, 2002; Ogunlela and Kasali, 2002;

Viessman and Lewis, 2008; Salami, 2009; Sule and Alabi, 2013) وذلك على النحو الآتي :

١- **حجم المياه في قمة التصريف** Peak discharge : ويحسب من المعادلة الآتية :

$$Q_p = \frac{0.208 \times A \times Q_d}{T_p} \qquad (8)$$

حيث إن: Q_p= حجم المياه في قمة التصريف (م^3/الثانية)، A= مساحة حوض التصريف (كم^2)، Q_d= حجم الجريان السطحى (مم) ويحسب من المعادلة (رقم ٩)، T_p= زمن وصول السيل إلى قمة التصريف (ساعة) ويحسب من المعادلة (رقم ١٠) على النحو التالي.

$$Q_d = R_c \times H \qquad (9)$$

حيث إن : R_c= معامل الجريان Runoff coefficient الذى يمثل كمية مياه الأمطار التي سوف تتحول إلى جريان سطحي حقيقي، ولهذا تعكس قيمة هذا المعامل الخصائص الهيدرولوجية للتربة والصخور داخل الحوض من نفاذية وسعة امتصاص وتخزين المياه، وتتراوح قيمة هذا المعامل بين ٠,١٠- ٠,٣٠ وخصصت SCS القيمة (R_c = 0.175) لتربات المناطق الجافة، وبصفة خاصة التربات التي اشتقت موادها من صخور الحجر الرملي والكلسي. أما المتغير الثاني في المعادلة هو H= متوسط أقصى كمية مطر سقطت في يوم واحد (مم)، وهو ٢٥,٣٥ مم بحسب بيانات الأمطار التي سجلتها محطة بريدة في مدة ٤٥ سنة (١٩٦٥- ٢٠٠٩).

٢- **زمن الوصول إلى قمة التصريف** Time to Peak : ويحسب من المعادلة الآتية :

$$T_p = \frac{T_c + 0.133T_c}{1.7} \qquad (10)$$

حيث إن: T_p= زمن الوصول إلى قمة التصريف (ساعة)، T_c= زمن التركيز للحوض[1] Time of concentration (min)، ويحسب من المعادلة الآتية:

$$T_c = 0.0195\left(\frac{L^{0.77}}{S^{-0.385}}\right) \qquad (11)$$

حيث إن: L= طول المجرى الرئيس (بالمتر)، S= انحدار المجرى الرئيس (م/م)، ويحسب من المعادلة الآتية:

$$S = \frac{H_{max} - h_{min}}{d} \qquad (12)$$

حيث إن: H_{max}= أقصى ارتفاع للمجرى الرئيس (بالمتر)، h_{min}= أدنى ارتفاع للمجرى الرئيس (بالمتر)، d= أقصى طول للمجرى الرئيس (بالمتر).

(١) زمن التركيز Concentration time: هو الفترة الزمنية التي تستغرقها مياه الأمطار في قطع المسافة ما بين خط تقسيم المياه في أقصى المنابع، ومصب الوادي أو مخرجه، ولهذا يعكس زمن التركيز سرعة الجريان المائي داخل الحوض (Viessman and Lewis, 2008; Wurbs and James, 2010; Sule and Alabi, 2013) ويتأثر زمن التركيز بالخصائص الشكلية والتضاريسية للحوض، فالأحواض المستطيلة منخفضة التضاريس، والتي تكتنفها قيعان ومنخفضات، وتتسم مجاريها بالانعطاف، فإن مياهها تستغرق وقتا أطول في الوصول إلى المصب، ولهذا يكون زمن التركيز طويلا، وبالتالي ترتفع نسبة الفاقد من المياه، وقد لا تشكل السيول التي تدفعها مثل هذه الأحواض خطورة حقيقية، بينما العكس بالعكس.

دراسات منجزة و أعمال سابقة

قام العوضي، حمدينه عبد القادر (٢٠٠٢) بدراسته المعونة ب: "أحواض التصريف بحوض المدينة المنورة – المملكة العربية السعودية – دراسة جيومورفولوجية". بالتركز على أربعة أحواض، هي: حوض وادي العقيق، وحوض وادي قناة، وحوض وادي النقمى، وحوض وادي العاقول، وعرض لهيدروجيولوجيتها، على جانب أخر ركز على دراسة مصاطبها من خلال أشكالها وخصائص إرسابتها النهربة، وقادت نتائج هذه الدراسة إلى تميز جريان عظيم وطويل عكس حالها القديم باعتبارها مجاري سالفة شبه دائمة، وهذا الاستنتاج يتوائم مع ماوصفه الدغيري٢٠١١ في أن وادي الرمة في بعض مراحل البلايستوسين كان نهراً دائم الجريان، إضافة إلى أن وادي الوطاة شهد جرياناً دائماً أبان الهولوسين المبكر، عليه فمن المحتمل أن سيلان أودية غرب المملكة ربما كان يتزامن مع ما يحدث من فيضانات وجرياناتها شهدتها أودية وسط الجزيرة العربية، خاصة أن هنالك إشارات تدعم أن تأثير الرياح الموسمية كان يطغي على المملكة بعامة إبان الرباعي المتأخر حسب إشارات (Fletmann, et al., 2004. Aldughairi, 2011).

في دراسة مشتركة قام بوروبة والجعيدى (٢٠٠٧) بتقدير تدفق الذروة للسيول بحوض وادي العين بمحافظة الخرج في المملكة العربية السعودية معتمد على أنموذج سنايدرSnyder وبيانات المرئية الفضائية Spot-5، حيث وصل التدفق الأقصى بحوض وادي العين نحو (٢٦٤٩,٣م^{٣}/ثانية) بينما وصل التدفق المتوسط (٣٠٣,٧م^{٣}/ثانية) والأدنى (٧٤,٣م^{٣}/ثانية). وعلى نفس النمط قدر بوروبة (٢٠٠٧) دراسة قدر فيها حجم السيول في وادي عتود

وضلع في المملكة العربية السعودية باستخدام أنموذج سنايدرSnyder ، ووصلت قيم تدفق الذروة الأقصى بين ١٣٥٤,٩ و ١٨٨٦,٥ م٣/ثانية وقيم تدفق الذروة المتوسط بين ١٣٦,٤ و ١٨٥,١م٣/ثانية وقيم تدفق الذروة الأدنى بين ٣٦,١ و ٤٩,٨م٣/ثانية في حوضي عتود الأعلى ووادي ضلع على التوالي.

قدم البريدي، تركي بن جار الله (١٤٣٣ هـ) دراسة عنونها ب: "التحليل المورفومتري وتقدير التدفق السيلي لشبكة التصريف المائي السطحي لحوض وادي العمارية". درس الباحث فيها الخصائص الجيولوجية والتضاريسية والتربة في الحوض، وكذلك خصائصه المناخية، وعمدا إلى إجراء دراسة مورفومترية تحليلية للشبكة النهرية السائدة في الحوض، على جانب أخر من الدراسة قام الباحث بحساب وتقديرً التدفق السيلي، معتمدا على عدد من النماذج في ذلك مكنته من حساب أقصى وأدنى دفق مائي أثناء حدوث السيول، قادت نتائج الدراسة إلى إن هنالك فروقات في احجام التدفق السيلي من حوض لأخر فوصلت قيم التدفق السيلى في حوض العمارية بين ١٠٤,٩٣٩m3/sec بالنسبة لفترة رجوع خمس سنوات ، ونحو 180.108m3/sec بالنسبة لفترة رجوع ١٠٠ سنة.

فيما يتعلق بالحالة البيئي القديمة لأودية وسط المملكة قدم الدغيري، أحمد بن عبدالله (٢٠١١) بحثا عن "التغيرات البيئة الرباعية ببريدة " افرد في دراسة جزء تناول فيها الفيضات القديمة لوادي الوطاة، وقادت نتائج دراسته إلى تبيان فيضان عم حوض الوطاة قبل مايقارب ١٠ ألاف سنه، حيث كان الحوض يستقبل الامداد المائي من هضاب شمال غرب القصيم والتي كانت

تستقطب الموثرات الموسمية الرطبة آنذاك، على جانب أخر وفي أواسط الهولوسين أو ضحت الدراسة جفاف وضعف تدريجي في جريان وادي الوطاة حيث عم الجفاف وتغيرت الاوضاع البيئة واصبح الوادي أقرب لما يكون بقناة وحلية مستنقعية، في الوقت نفسه أدلف الدغيرى قائلا في مبحث أخر تناول فيه "أدلة فيضان وادي الرمة بإقليم القصيم خلال الهولوسين " إن الفيضانات التي شهدها وادي الرمة تزامن وقتا وزمنا مع فيضانات وادي الوطاة وفي معرض أخر أشار الدغيري والوهيبي، ٢٠١٦ أن فيضانات عارمة شهدها حوض وادي النساء بغرب القصيم هي قريبة الشبة من تلك المجاورة لها في قاع القتلا حيث مصب وادي النساء ، وعلى جانب أخر من الدراسة قاما الباحثان بسقاط المخططات الهيكلية لمدينة الرس ومحلة دخنة بحوض وادي النساء على الشبكة القديمة لوادي النساء وأسفرت النتائج إلى أن المخطط والمستثمر لا يراعي مجاري وحرم أودية حوض النساء.

الدراسة المورفومترية لحوض وادي الوطاة

أولاً: الخصائص المساحية والشكلية

تأتى الخصائص المساحية والشكلية لأحواض التصريف انعكاساً للخصائص الجيولوجية (الليثولوجية والبنيوية) للصخور في تلك الأحواض، وكذلك خصائص شبكات التصريف، والظروف المناخية وبصفة خاصة المناخ القديم التي توالت أحداثه عليها، ويمكن الاعتماد على تلك الخصائص في قراءة التطور الجيومورفولوجى لأحواض التصريف، ذلك لأنها تعكس المراحل التي قطعتها الأودية في دورتها التحاتية، ولهذا يرى "اشترالر

Strahler" أن الأحواض المائية التي تتشابه في خصائصها الشكلية يغلب عليها التشابه في خصائصها الجيومورفولوجية (Strahler, 1957, p. 292).

ويبين الجدول (رقم٢) الخصائص المساحية والشكلية لحوض وادي الوطاة، ومنه يتضح الآتي:

١- تبلغ مساحة حوض وادي الوطاة ٥٥٤,٥٠ كم٢، وغالبا ما تأتى الخصائص المورفومترية للحوض والخصائص الهيدرولوجية لشبكة التصريف في علاقة طردية مع مساحة الحوض، ولهذا تعتبر مساحة الحوض متغيرا له أهميته في إنشاء المخطط المائي (الهيدروجراف) في جميع النماذج النظرية والتطبيقية على السواء.

(جدول ٢) الخصائص الجيومترية (المساحة – الأبعاد – معاملات الشكل)

لحوض وادي الوطاة

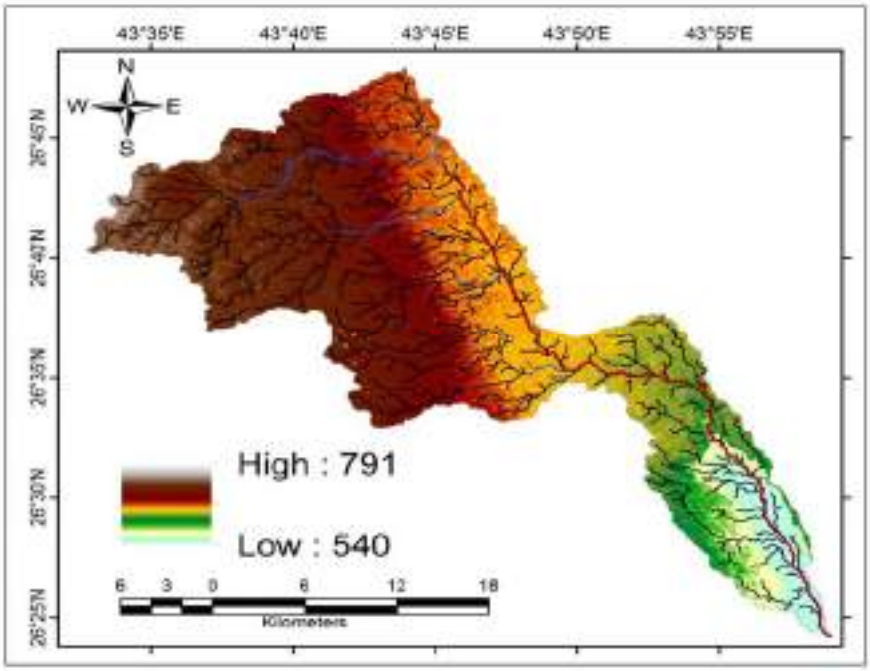
المساحة (كم٢)	أبعاد الحوض (كم)			شكل الحوض		
	الطول	م. العرض	المحيط	الاستدارة	الاستطالة	عامل الشكل
٥٥٤,٥٠	٥١	١٠,٨٧	١٧٦,٥	٠,٢٢	٠,٢٦	٠,٢١

٢- جاءت أبعاد حوض وادي الوطاة انعكاسا لمساحته، حيث يبلغ طول الحوض ٥١كم، بينما يبلغ متوسط عرضه (A/L_b) ١٠,٨٧كم، ويبلغ محيطه ١٧٦,٥٠كم، وربما تشير أبعاد الحوض إلى أنه لم يقطع شوطًا كبيرًا في دورته التحاتية، وربما يؤكد هذه النتيجة تكامله الهيبسومترى.

٣- تبلغ نسبة الاستدارة Circularity Ratio لحوض وادي الوطاة ٠,٢٢ وتشير هذه النسبة إلى أن هذا الحوض منخفض الاستدارة ، وهذا ما تظهره في الواقع خريطة الحوض (شكل رقم٣).

٤- سجل حوض وادي الوطاة نسبة استطالة Elongation Ratio بلغت ٠.٢٦ مما يعنى أن الحوض يتجه بشكل كبير نحو الاستطالة، وهو بالفعل طولي الشكل (الخريطة شكل٣) وربما هذا ما دعا "مارى موريساوا" (Morisawa, 1985, p. 151) إلى القول بأن نسبة الاستطالة التي ابتكرها "شوم (1956) Schumm تعد أفضل المقاييس للحكم على شكل حوض التصريف (**تميل أحواض التصريف إلى الشكل الطولى إذا انخفضت نسب استطالتها ، وذلك بعكس الاستدارة ، فالأحواض المستديرة أو القريبة من الشكل الدائري ترتفع نسب استدارتها**)، ويبدو أن الحوض اكتسب خصائصه الشكلية تحت تأثير العوامل البنيوية وبصفة خاصة الصدوع التي تكتنف الصخور وتمتد على محاور شمالية جنوبية.

شكل (٣) خصائص الشكل لحوض وادي الوطاة



وتجدر الإشارة إلى أن نسبتي الاستدارة والاستطالة يعدان مؤشراً أوليًا لفهم طبيعة الجريان النهري في أحواض التصريف، فالأحواض منخفضة الاستدارة عالية الاستطالة (ومنها حوض الوطاة) لا تشكل خطورة حقيقية في أعقاب سقوط أمطار عادية، وفي حال سقوط أمطار العواصف التي تعد أهم حدث مناخي في البيئات الجافة، تكون أقل خطورة بالمقارنة بأحواض أخرى عالية الاستدارة منخفضة الاستطالة لها نفس الخصائص الجيولوجية؛ ذلك لأن جريان المياه يستغرق وقتاً أطول داخل الأحواض منخفضة الاستدارة عالية الاستطالة حتى يصل إلى مخارج أوديتها الرئيسة، وبالتالي فإن جزءاً كبيراً من المياه يُفقد بالتسرب وعن طريق التبخر تحت تأثير عامل الوقت، بينما يصل الجزء المتبقي من المياه على سطح الأرض داخل الأحواض – إن قدر له الوصول – إلى مخارج أوديتها وهو ضعيف الجريان محدود الحجم والطاقة.

ثانياً: الخصائص التضاريسية Relief Characteristics

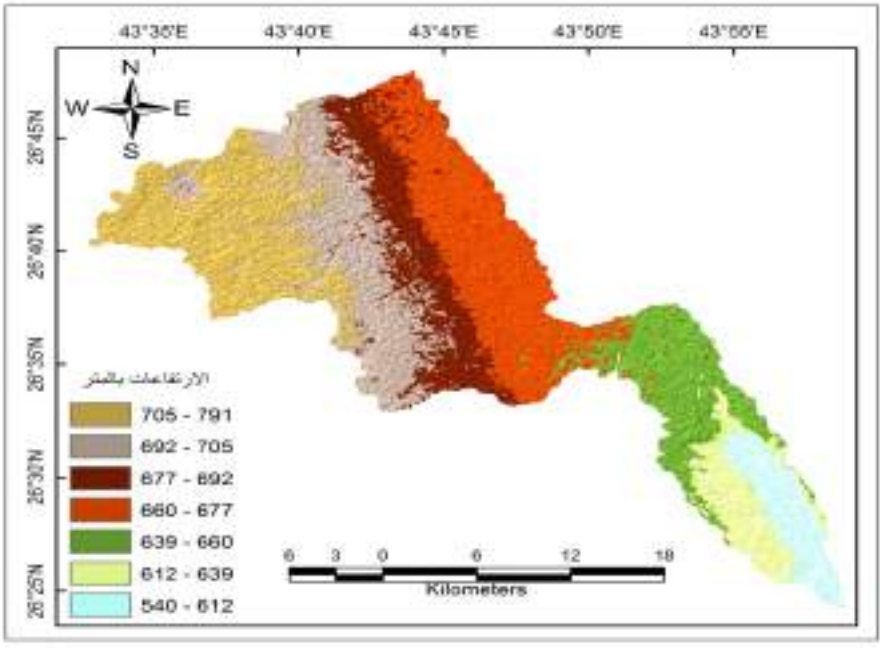
تعكس خصائص تضاريس الأحواض المراحل التي قطعتها أوديتها في دورتها التحاتية، كما تساعد في تقدير كمية المادة الصخرية التي ما تزال داخل أحواضها وتنتظر دورها في النحت والنقل، وعلى جانب آخر، يعد الجريان السطحي انعكاسا لخصائص السطح داخل أحواض التصريف، حيث إن سرعة الجريان المائى Runoff Velocity، وزمن الاستجابة Lag Time، وزمن التركيز Concentration Time لحوض التصريف متغيرات وثيقة الصلة بالخصائص التضاريسية لتلك الأحواض، وبصفة خاصة انحدار المجاري المائية وأراضي ما بين الأودية، ويتحدد - بناء عليها - طبيعة الجريان المائي وكميته، وشكل هيدروجراف السيول الحالية. ويبين الشكل (رقم٤)، والجدول (رقم٢) خصائص تضاريس حوض وادي الوطاة، ومنه يتضح الآتي:

١- تبلغ التضاريس الكلية Total Basin Relief لحوض وادي الوطاة ٢٥١م، وهو الفرق بين أدنى منسوب في الحوض (٤٥٠م) وأعلى منسوب في منطقة المنابع العليا (٧٩١م).

٢- تبلغ نسبة التضاريس Relief Ratio لحوض وادي الوطاة ٣,٥٥ م/كم، بينما تبلغ التضاريس النسبية Relative Relief ٠,١٤ م/كم، ويتضح من بيانات الجدول (رقم٣) أن زيادة التضاريس الكلية لأحواض الروافد يقابلها نقص في تضاريسها النسبية ، وأن العلاقة الارتباطية بينهما تأتى بالضرورة عكسية ودالة.

٣- يبلغ رقم الوعورة Ruggedness Number في حوض وادي الوطاة ٤,٧٤ ورغم أن رقم الوعورة يسير في خط متواز مع التضاريس النسبية، فإن العلاقة بين الوعورة والتضاريس الكلية غالبا ما تأتى عكسية، بينما تأتى طردية بين الوعورة والتضاريس النسبية.

شكل ٤ : تضاريس حوض وادي الوطاة



(جدول ٣) خصائص تضاريس حوض وادي الوطاة

أدنى منسوب (م)	أعلى منسوب (م)	التضاريس الكلية (م)	نسبة التضاريس (م/كم)	التضاريس النسبية (م/كم)	رقم الوعورة
٥٤٠	٧٩١	٢٥١	٣,٥٥	٠,١٤	٤,٧٤

٤- يبلغ التكامل الهيبسومترى Hypsometric Integral لحوض وادي الوطاة ٦٤٪ (الشكل ٥)، ويعنى هذا أن الوادي قطع نحو ٣٦٪ فقط من دورته التحاتية، أي أنه أزال ما يربو على ثلث المادة الصخرية من حوضه، والحوض بهذه النتيجة بات متوازنا، أو على الأقل القطاع الأدنى منه، حيث يرى "اشترالر" أن أحواض الأودية تصبح متوازنة إذا بلغ تكاملها ٦٠٪ (Strahler, 1957, pp. 279- 300)، بينما يرى "ريتر وزملاؤه" أن تكامل أحواض التصريف الطبيعية يتراوح بين ٢٠- ٨٠٪، وأن القيم المرتفعة تشير إلى وجود مناطق واسعة داخل الحوض لَّما تتخدد وتتحول إلى منحدرات (Ritter et al., 1995, p. 155)

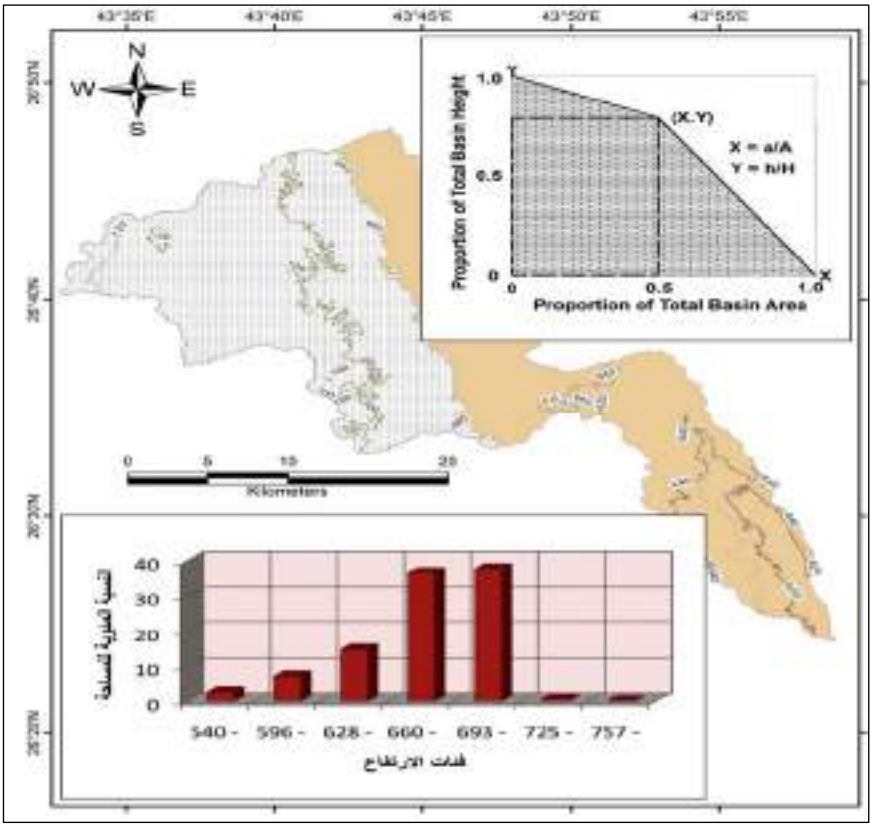
ويتصف حوض وادي الوطاة بكثرة الكتل الصخرية المتبقية أو المنعزلة، ورغم ذلك جاء تكامله مرتفعاً على عكس ما يعتقد "اشترالر" في أن كثرة الكتل المنعزلة داخل أحواض التصريف تعد مؤشراً على انخفاض تكاملها، وأنها مرحلة انتقالية يعاود بعدها التكامل ارتفاعه (آمال إسماعيل شاور، ١٩٨٢، ص ٤٩) ، ويبدو أن السبب في ارتفاع تكامل هذا الحوض هو شدة تضرسه ووعورته وتقارب خطوط الكنتور وتزاحمها في قطاعيه الأوسط والأعلى، ولهذا يصبح التقدم في الدورة الجيومورفولوجية أمر مرهون بتخفيض مناسيب سطح الأرض في القطاع الأوسط ومنطقة المنابع، وهذا

بالطبع مستعصياً عليه وعلى الأودية أمثاله في البيئات الجافة ولن يتحقق في ظل ظروف المناخ القاحل في زماننا المعيش.

وتجدر الإشارة إلى أن وادي الوطاة يصب وينتهى عند نقطة تقع على منسوب ٥٤٠ متراً فوق مستوى سطح البحر حيث مخفضات النقع، ولهذا يجب الوضع في الاعتبار أن التكامل هنا نسبى وليس تكاملاً مطلقاً، تقتصر أهميته على مقارنة حوض وادي الوطاة بأحواض أخرى مماثلة لها نفس الخصائص، وكذلك وضع أحواض روافده في مقارنة مع بعضها لمعرفة المتقدم منها في دورته التحاتية والمتأخر، أما الحكم على هذا الوادي وغيره من الأودية الجافة التي لم تنتهى إلى بحار مفتوحة ولا إلى أحواض ومنخفضات تقع في مستواها، بل تقع مخارجها (مصباتها) فوق مستوى سطح البحر، فإن الحكم عليها بأنها بلغت، على سبيل المثال، مرحلة النضج أو الشيخوخة، على نحو ما ذهب إليه بعض البحاث وطلاب التخصص، أمر به قدر كبير من المبالغة وعدم موضوعية، فضلاً عن تجاهله للضوابط والمعايير الواجب توافرها عند إطلاق تلك الأحكام، وأظهرت الدراسات التي أجريت على أحواض الأودية في شبه الجزيرة العربية أن نسب تكاملها جاءت متفاوتة (جدول٤)، وقد يعزى اختلاف تلك النسب إلى تفاوت الخصائص الجيولوجية والمورفومترية لهذه الأحواض، وربما أيضا الظروف المناخية البائدة والسائدة في زماننا المعيش، وكذلك الخصائص التضاريسية، حيث أشار "كوك وورن" إلى أن التكامل الهبسومترى يعد أهم المقاييس في الكشف عن حقيقة العلاقة المورفومترية بين تضاريس أحواض التصريف (Cooke and Warren, 1975, p. 155).

جدول (٤) مقارنة نسب تكامل بعض أحواض التصريف في شبه الجزيرة العربية

الحوض	الموقع	التكامل (٪)	الباحث
وادي الوطاة	القصيم	٦٤	العوضي، حمدينه: الدغيري، أحمد (الدراسة الحالية)
وادي السهل	القصيم	٦٤,٢	الدغيري، أحمد: العوضي، حمدينه (١٤٣٣هـ)
وادي عتود	خميس مشيط	٤١	بوروبة، محمد (٢٠٠٧)
أحواض مائية	الأردن	٨٦,٨- ٨٦,١	سلامة، حسن رمضان (١٩٨٠)



شكل (٥) الخريطة الكنتورية لحوض وادي الوطاة، وتكامله الهيبسومترى

المصدر من إنجاز الباحثان بالاعتماد على الأنموذج الراداري SRTM

ثالثاً: خصائص شبكة التصريف

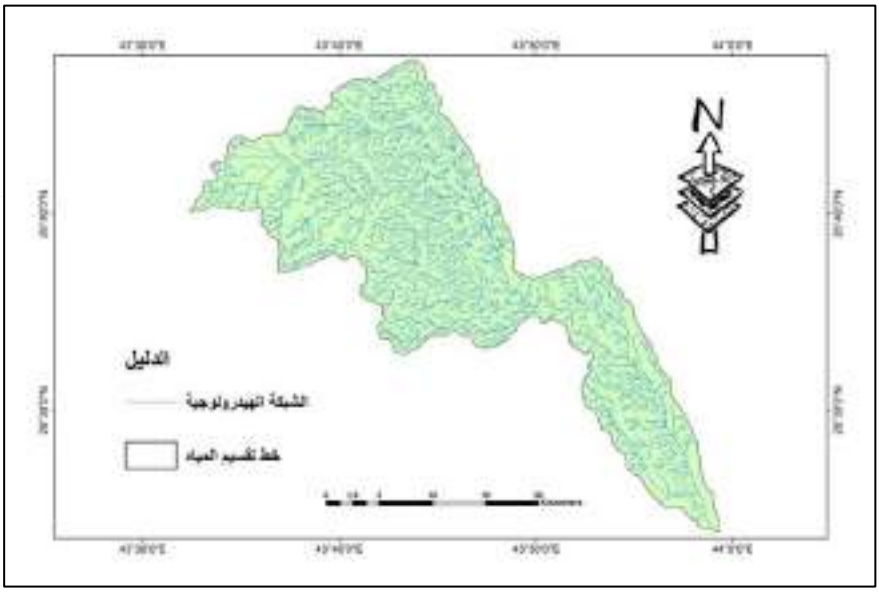
بلغ وادي الوطاة الرتبة السادسة بحسب تصنيف "اشترالر" لشبكات التصريف، بينما وصلت خمسة روافد إلى الرتبة الخامسة، وتعد تلك الروافد – تحديدا – حجر زاوية في تطور شبكة التصريف، ولهذا يتوقف عليها زمن الاستجابة للحوض، ويتضح من خريطة شبكة التصريف (شكل رقم٦)، الجدولين رقمي (٥ و ٦) الآتي:

١- رتب المجاري المائية Channel Orders

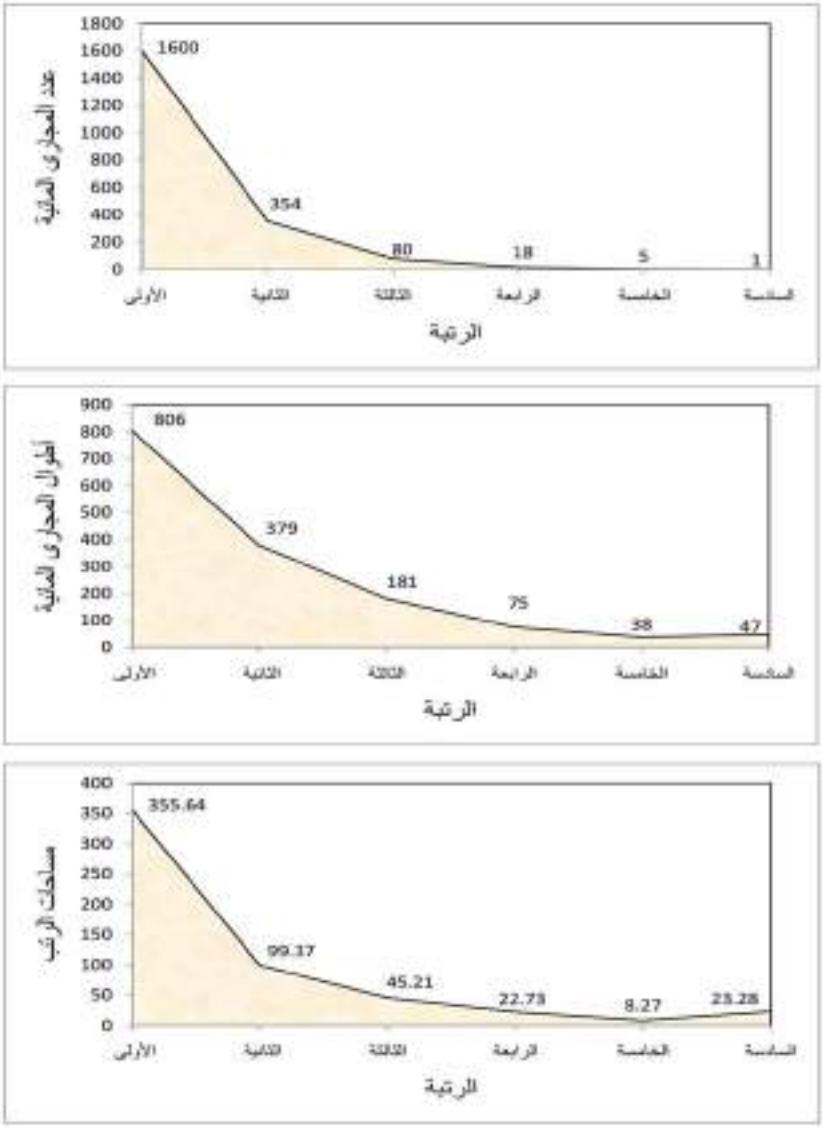
(١- ١)- تتفوق مجارى الرتبة الأولى من حيث العدد على مجارى الرتب الأخرى مجتمعة، حيث بلغت نسبتها ٧٧.٧٥٪، وتليها مجارى الرتبة الثانية بنسبة بلغت ١٧.٢٠٪ من عدد المجاري المائية في مختلف الرتب (شكل٦)، وكلما ارتفعت الرتبة تناقص عدد مجاريها، أي أن العلاقة عكسية بين الرتبة وعدد المجاري (شكل رقم٧).

(١- ٢) تبلغ أطوال مجاري الرتبة الأولى ٥٢.٨٢٪ من مجموع أطوال المجاري في مختلف الرتب، وتليها الرتبة الثانية (٢٤.٨٤٪)، وكلما تقدمت الرتبة تناقصت أطوال مجاريها، بينما تزداد الأطوال الفعلية للمجاري مع ارتفاع الرتبة.

شكل (٦) خريطة شبكة التصريف لوادي الوطاة



المصدر من إنجاز الباحثين بالاعتماد على الأنموذج الراداري SRTM



شكل (٧) علاقة الرتبة بعدد المجاري وأطوالها ومساحاتها
على مستوى الرتب في حوض وادي الوطاة

(١- ٣)- يبلغ متوسط طول المجرى في الرتبة الأولى ٠,٥٠ كم، بينما يصل متوسط طول المجرى إلى ٧,٥٠ كم في الرتبة الخامسة، وبالتالي فإن تناقص عدد المجاري مع تقدم الرتبة يقابله زيادة في طول المجرى (شكل رقم ٧).

جدول (٥) خصائص شبكة المجاري المائية بحوض وادي الوطاة

الرتبة	عدد المجارى	أطوال المجارى (كم)	متوسط طول المجرى (كم)	مساحة الرتبة (كم٢)	متوسط المساحة (كم٢)
الأولى	١٦٠٠	٨٠٦	٠,٥٠	٣٥٥,٦٤	٠,٢٢
الثانية	٣٥٤	٣٧٩	١,٠٧	٩٩,٣٧	٠,٢٨
الثالثة	٨٠	١٨١	٢,٢٦	٤٥,٢١	٠,٥٧
الرابعة	١٨	٧٥	٤,١٧	٢٢,٧٣	١,٢٦
الخامسة	٥	٣٨	٧,٥٠	٨,٢٧	١,٦٥
السادسة	١	٤٧	٤٧,٦	٢٣,٢٨	٢٣,٢٨
المجموع	٢٠٥٨	١٥٢٦	-	٥٥٤,٥٠	-

(١- ٤)- تستأثر الرتبة الأولى بنحو ٦٤,١٤٪ من مساحة الحوض، وتليها الرتبة الثانية بنسبة مساحة تبلغ ١٧,٩٢٪، وكلما تقدمت الرتبة تناقصت نسبة المساحة التي تشغلها مجاريها داخل الحوض بالمقارنة بما تشغله مجارى الرتب الأدنى من مساحات، هذا على الرغم من أن متوسط المساحة التي يشغلها مجرى الرتبة الأولى تبلغ ٠,٢٢ كم٢، بينما يبلغ متوسط مساحة المجرى في الرتبة الخامسة ١,٦٥ كم٢، ويعنى هذا أنه بالاتجاه نحو الرتب الأعلى؛ تتناقص المساحات على مستوى الرتب، بينما تزداد على مستوى المجاري المائية في كل رتبة (شكل رقم٧).

٢- **نسبة التشعب** Bifurcation Ratio

تتراوح نسب التشعب على مستوى الرتب في حوض وادي الوطاة بين ٣,٦- ٥,٠ رافد، بمتوسط تشعب عام يبلغ ٤,٣٨ رافد (جدول٥)، وهنا نلمس زيادة في نسب التشعب على مستوى الرتب وعلى مستوى الحوض ككل عند وضع تلك النسب في مقارنة مع نسب تشعب حوض وادي السهل الذى يقع في إقليم القصيم إلى الشرق من حوض وادي الوطاة على مسافة قريبة منها (الدغيرى، والعوضى، ١٤٣٣ هـ)، وقد يقتصر الاختلاف بين الحوضين على الخصائص الشكلية، فحوض وادي الوطاة ينأى عن الاستدارة ويميل نحو الاستطالة بالمقارنة بحوض وادي السهل، وبالفعل أشار سعد وآخرون (Saad, et al., 1980, p. 822) إلى أن نسبة التشعب تعد دالة للشكل الهندسي لحوض التصريف، فالأحواض التي تسجل نسب تشعب عالية تميل إلى الشكل الطولي ، وعليه تستغرق المياه وقتاً طويلاً حتى تصل إلى مخارج وديانها ، أما الأحواض منخفضة التشعب ؛ فتميل إلى الشكل الدائري أو القريب منه ، وتتمكن شبكاتها من نقل المياه من منابعها إلى مخارج وديانها في وقت قصير، وبناءً على ما أشار إليه "سعد وآخرون" فإن جريان وادي الوطاة قد لا يشكل خطورة حقيقية حال سقوط الأمطار العادية على حوضه.

ولا شك في أن نسبة التشعب فضلا عن تأثرها بالظروف المناخية البائدة والسائدة في الوقت الحاضر، فإن تطورها مرهون بتأثير الخصائص الليثولوجية والبنيوية للصخور في الحوض، رغم ما أشار إليه هورتون (Horton, 1932) من أن نسبة التشعب تنحصر بين ٣- ٥ عندما لا تكون لبنية الصخور تأثير قوى على أحواض التصريف (Gregory and Walling, 1973, p. 54).

جدول (٦) بعض الخصائص المورفومترية لشبكة تصريف وادي الوطاة

الرتبة	نسبة التشعب	كثافة التصريف (كم/كم٢)	تكرار المجارى (رافد/كم٢)
الأولى	٤,٥	٢,٢٧	٤,٥٠
الثانية	٤,٤	٣,٨١	٣,٥٦
الثالثة	٤,٤	٤,٠٠	١,٧٧
الرابعة	٣,٦	٣,٣٠	٠,٧٩
الخامسة	٥,٠	٤,٥٩	٠,٦٠
السادسة		٢,٠٢	٠,٠٤
المتوسط	٤,٣٨	٣,٣٣	١,٨٨

٣- كثافة التصريف Drainage Density

تأتى كثافة التصريف في مقدمة المقاييس التي تصف النظامين المورفومتري والمورفولوجي لأحواض التصريف، وتعكس طبيعة العلاقة بين عدد من المتغيرات أسهمت بأدوار متباينة في رسم ملامح هذين النظامين ومن أبرزها: الظروف المناخية القديمة والسائدة في الزمن المعيش، خاصة كمية التهاطل المطري من حيث فصليتها ونظام سقوطها وقيمتها الفعلية، والخصائص الجيومترية لسطح الأرض داخل حوض التصريف التي يتوقف عليها نشاط شبكته، وتقف جيولوجية الصخور والتكوينات نوعاً وبنية قاسمًا مشتركاً بين تلك المتغيرات، فضلاً عن تأثير عوامل أخرى كالنبات ونوع التربة والشوط الذى قطعته أحواض التصريف في دورتها التحاتية ويعرض الجدول (رقم٦) كثافة تصريف حوض وادي الوطاة ومنه يتضح الآتي:

(٣- ١)- تتراوح كثافة التصريف على مستوى الرتب في حوض وادي الوطاة بين ٢,٠٢- ٤,٥٩ كم/كم^{٢}، بمتوسط عام بلغ ٣,٣٣ كم/كم^{٢} وهى بشكل عام كثافة منخفضة رغم ندرة الكساء النباتي الطبيعي، كما أنها تعكس خشونة النسيج الطبوغرافي داخل الحوض، حيث أشار "اشترالر"

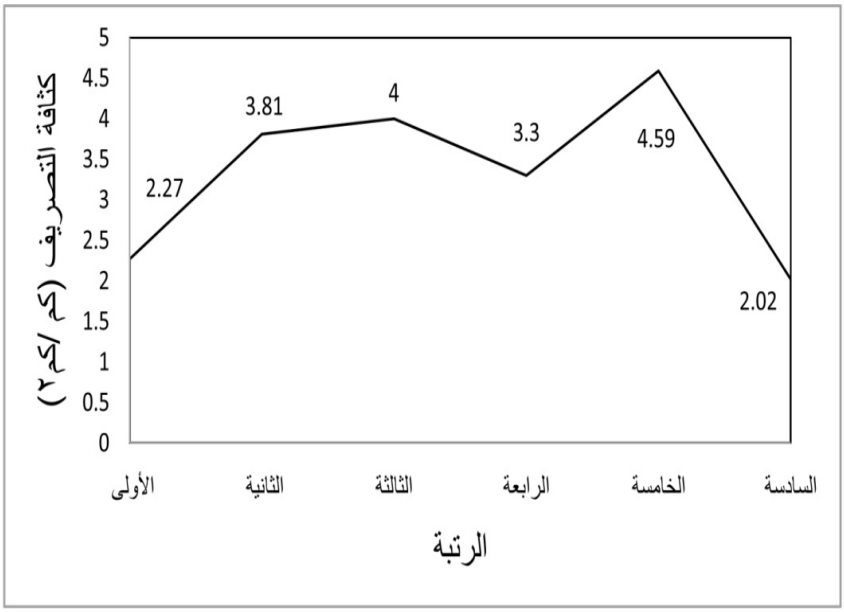
(Strahler, 1957, p. 32) إلى أن أحواض التصريف تكون خشنة النسيج إذا انخفضت كثافات تصريفها عن ٥ كم/كم٢ ، وأرجع ذلك إلى شدة نفاذية الصخور وقلة التهطالات المطرية التي تسقط على أحواضها ، واتفق معه بحاث آخرون منهم جريجورى ووالنج (Gregory and Walling, 1973, p. 45) ، وهوارد (Howard, 1967, p. 2246) ، غير أن مارى موريساوا (Morisawa, 1985, p. 140) أشارت إلى أن أحواض التصريف تكون خشنة النسيج Coarse texture إذا انخفضت كثافة التصريف عن ٨ كم/كم٢ ، وعلى أية حال ففي الحالتين يوصف حوض وادي الوطاة بانخفاض كثافة تصريفه وخشونة نسيجه الطبوغرافي.

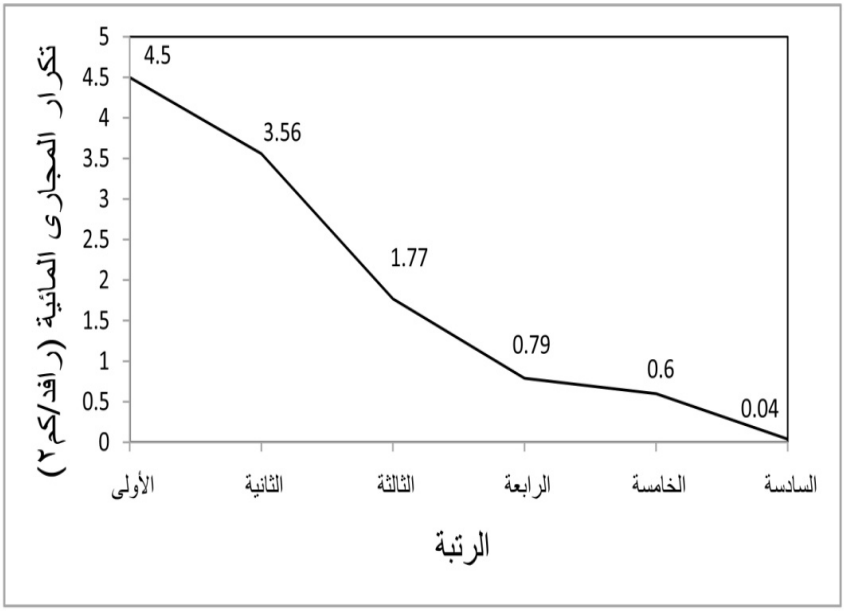
ومن المعلوم بالضرورة أن كثافة التصريف تكون منخفضة في بدايات دورة التعرية ، ثم ترتفع في منتصفها ، غير أنها تعود وتنخفض ثانية في نهاية الدورة ، وانخفاض كثافة تصريف حوض وادي الوطاة يتبع الانخفاض الأول ، وهذا ما أظهرته دراسة خصائص المساحة والشكل ، ودراسة خصائص تضاريس الحوض وتكامله الهبسومتري.

(٣- ٢)- بناءً على دراسات أخرى مماثلة يبدو أن جيولوجية الصخور في حوض وادي الوطاة كانت سبباً في انخفاض كثافة تصريفه ، حيث تندرج صخور الحوض ضمن مجموعة أكلاس بريدة (راجع الشكل ٢) ، وأشار كوك وورن (Cooke and Warren,1975, p.151) إلى أن كثافة التصريف تنخفض بشدة في الأحواض التي تجرى أوديتها على صخور عالية النفاذية والتسرب مثل الحجر الكلسي أوالصخور البركانية الحامضية.

وفي دراسة لهما عن الشكل والعملية في أحواض التصريف أكد جريجوري ووالنج (Gregory and Walling, 1973, p. 46) نفس النتيجة بقولهما إن كثافة التصريف تنخفض بشكل كبير في الأحواض التي تجرى أوديتها على صخور عالية النفاذية، واتفق معهما بحاث كثيرون منهم ريتر وزملاؤه (Ritter et al., 1995, p. 153) ، وهيلز (Hails, 1977, p. 123) ، واصمول (Small, 1989, pp. 47-49) وعوّل الأخير كثيراً على قوة تأثير نوع الصخر في كثافة التصريف ، حيث أشار عند دراسته لأحواض التصريف التي تجرى أوديتها في أراضي الطباشير الإنجليزى English Chalk Lands إلى أن كثافة التصريف انخفضت إلى أقل من ١ كم/كم^{٢} رغم أنه أدخل الغدران الموسمية Seasonal Bournes في حساب الكثافة، وأرجع انخفاض كثافة التصريف إلى ارتفاع معدلات النفاذية في الصخور الطباشيرية، وبناءً على ما تقدم فمن المتوقع أن تكون صخور الحجر الكلسي أحد أسباب انخفاض كثافة التصريف حوض وادي الوطاة بشكل عام، ولو صح هذا التوقع، يمكن القول أن نسبة كبيرة من مياه الأمطار التي تسقط على حوض وادي الوطاة تتسرب عبر الصخور والتكوينات وتتحول إلى حساب المياه الجوفية القريبة من السطح حيث خزان متكون خف.

شكل (٨) علاقة الرتبة بكثافة التصريف وتكرار المجارى





٤- تكرار المجارى Drainage Frequency

يتراوح تكرار مجارى الأودية في حوض وادي الوطاة بين ٠,٠٤ - ٤,٥٠ رافد/كم^{٢} ، بمتوسط عام يبلغ ١,٨٨ رافد/كم^{٢} (جدول رقم٥)، ويتضح من ذلك أن تكرار التصريف في حوض وادي الوطاة انخفض عن تكرار التصريف على مستوى الرتب وعن المتوسط العام، ويرجع ذلك إلى نفس الأسباب التي أدت إلى انخفاض كثافة التصريف في حوض الوادي الرئيس عن كثافات تصريف الرتب الأدنى منه وأيضاً عن المتوسط العام، فعادة ما يسير تكرار التصريف في نفس اتجاه كثافة التصريف.

ومن الملاحظ، زيادة تكرار مجارى الرتب الدنيا، ونقص تكرارها في الرتب العليا، وقد يرجع السبب في ذلك إلى زيادة عدد الروافد وقصر أطوالها في الوحدة المساحية داخل الحوض ككل ، بينما يقل عدد الروافد ويزداد أطوالها في نفس الوحدة المساحية المماثلة داخل أحواض الروافد، وفي ذلك إشارة إلى أن قيم تكرار التصريف تنخفض في الأحواض التي قطعت شوطاً متقدماً في دورة التعرية ، وفقدت على أثره نسبة من رصيدها الصخري ، بينما يرتفع تكرار التصريف في الأحواض التي مازالت في مرحلة متأخرة في دورتها التحاتية.

٢- الدراسة الهيدرولوجية لحوض وادي الوطاة

أولا : تصميم هيدروجراف حوض وادي الوطاة

تم استخدام نموذج سنايدر Snyder's Model في حساب المتغيرات اللازمة لتصميم هيدروجراف وادي الوطاة، بناء على القياسات التي أجريت على نموذج الارتفاع الرقمي للحوض SRTM-30m باستخدام برنامج Arc Map GIS V. 10.1 وبالاستعانة بزمن الأساس المعدل (TL(adj) المتوافق مع زمن عاصفة (ساعة، وساعتين، وثلاث ساعات)، وكذلك قمة التصريف (Qp) بالجدول (رقم)، تم حساب زمن الأساس T(hr) للهيدروجراف، وحجم التصريف Q (m3/s) لمدة عاصفة ساعة وساعتين وثلاث ساعات (الجدول أرقام ٩، ٨، ٧)، (والأشكال أرقام ٩ و١٠).

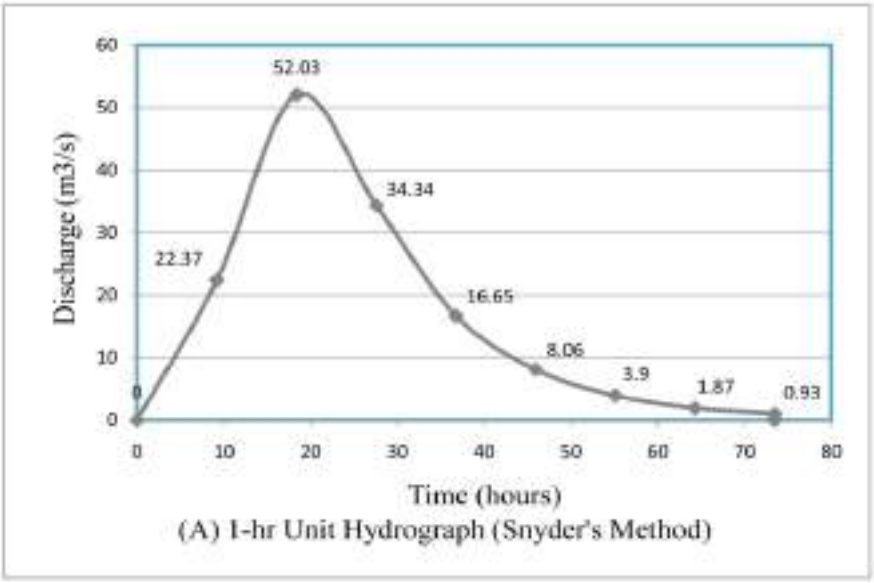
كما استخدم أيضا نموذج الهيئة الأمريكية لصيانة التربة SCS's Model في إنشاء هيدروجراف الحوض، اعتمادا على متغيرين أساسيين هما: حجم المياه في قمة التصريف Peak Discharge، وزمن الوصول إلى القمة Time to Peak (الجدول رقم١٠ ، والشكل رقم ١٠).

جدول (٧) زمن الأساس وحجم التصريف لهيدروجرافي حوض وادي الوطاة بنموذج سنايدر (لأمطار ساعة واحدة)

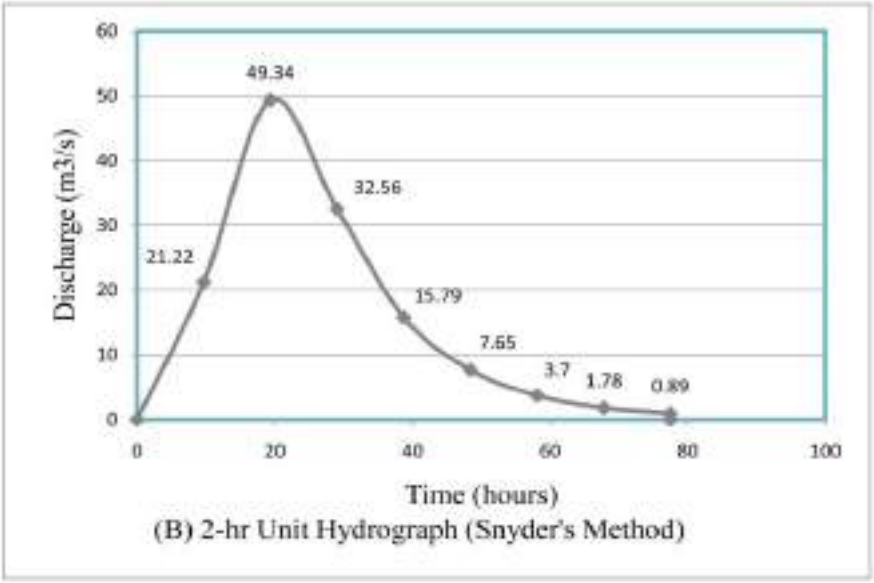
SCS *T/Tp*	زمن الأساس *T(hr)*	SCS *q/qp*	حجم التصريف *Q (m3/s)*
0	0	0	0
0.5	٩,١٩	0.43	٢٢,٣٧
1.0	١٨,٣٧	1.0	٥٢,٠٣
1.5	٢٧,٥٦	0.66	٣٤,٣٤
2.0	٣٦,٧٤	0.32	١٦,٦٥
2.5	٤٥,٩٣	0.155	٨,٠٦
3.0	٥٥,١١	0.075	٣,٩٠
3.5	٦٤,٣٠	0.036	١,٨٧
4.0	٧٣,٤٨	0.018	٠,٩٣

جدول (٨) زمن الأساس وحجم التصريف لهيدروجرافي حوض وادي الوطاة بنموذج سنايدر (لأمطار ساعتين)

SCS *T/Tp*	زمن الأساس *T(hr)*	SCS *q/qp*	حجم التصريف *Q (m3/s)*
0	0	0	0
0.5	9.69	0.43	21.22
1.0	19.37	1.0	49.34
1.5	29.06	0.66	32.56
2.0	38.74	0.32	15.79
2.5	48.43	0.155	7.65
3.0	58.11	0.075	3.70
3.5	67.80	0.036	1.78
4.0	77.48	0.018	0.89



(A) 1-hr Unit Hydrograph (Snyder's Method)



(B) 2-hr Unit Hydrograph (Snyder's Method)

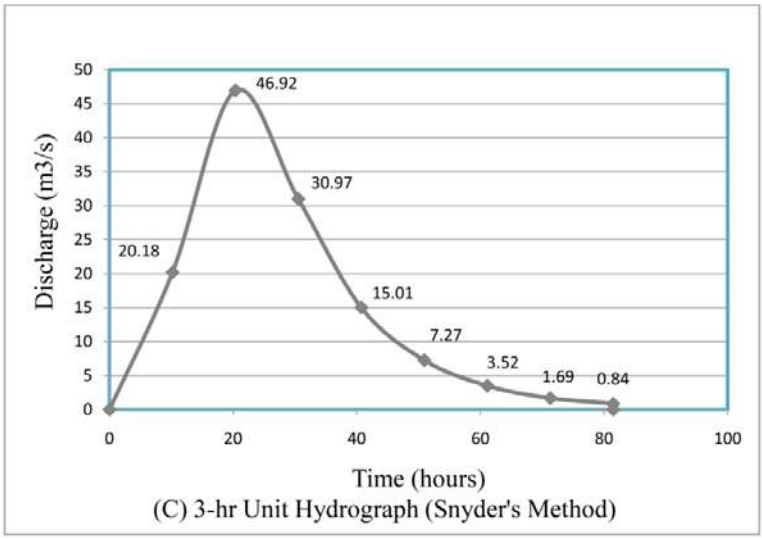
شكل (٩) الهيدروجراف القياسى لعاصفة مدتها ساعة وساعتين (بطريقة سنايدر) لحوض وادي الوطاة

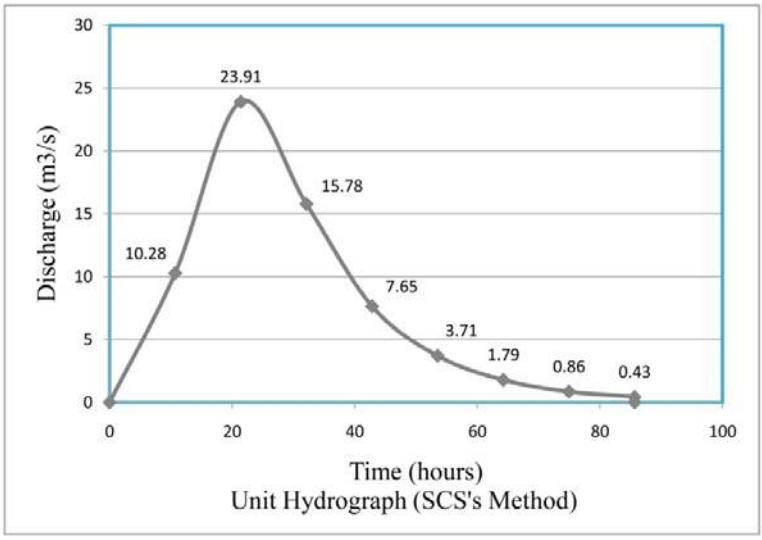
جدول (٩) زمن الأساس وحجم التصريف لهيدروجرافي حوض وادي الوطاة بنموذج سنايدر (لأمطار ثلاث ساعات)

SCS *T/Tp*	زمن الأساس *T(hr)*	SCS *q/qp*	حجم التصريف *Q (m3/s)*
0	0	0	0
0.5	١٠,١٩	0.43	٢٠,١٨
1.0	٢٠,٣٧	1.0	٤٦,٩٢
1.5	٣٠,٥٦	0.66	٣٠,٩٧
2.0	٤٠,٧٤	0.32	١٥,٠١
2.5	٥٠,٩٣	0.155	٧,٢٧
3.0	٦١,١١	0.075	٣,٥٣
3.5	٧١,٣٠	0.036	١,٦٩
4.0	٨١,٤٨	0.018	٠,٨٤

جدول (١٠) زمن الأساس وحجم التصريف لهيدروجرافي حوض وادي الوطاة بطريقة الهيئة الأمريكية لصيانة التربة (SCS)

SCS *T/Tp*	زمن الأساس *T(hr)*	SCS *q/qp*	حجم التصريف *Q (m3/s)*
0	0	0	0
0.5	10.71	0.43	10.28
1.0	21.42	1.0	23.91
1.5	32.13	0.66	15.78
2.0	42.84	0.32	7.65
2.5	53.55	0.155	3.71
3.0	64.26	0.075	1.79
3.5	74.97	0.036	0.86
4.0	85.68	0.018	0.43





شكل (١٠) الهيدرجراف القياسي لعاصفي مدتها ثلاث ساعات (بطريقة سنايدر)، وهيدروجراف قياسي (بطريقة SCS) لحوض وادي الوطاة

ثانيا: تصميم هيدروجراف السيول (العاصفة)

Development of Storm Hydrographs

تم استخدام قيم الهيدروجراف القياسي وتنسيقاته Unit hydrographic ordinates في حساب متغيرات وقيم هيدروجراف السيول (هيدروجراف العاصفة) Storm hydrograph ، بناء على البيانات الفعلية لأقصى كميات مطر يومية سجلتها محطة بريدة في مدة ٤٥ سنة (الفترة من ١٩٦٥-٢٠٠٩)، وبناء على أقصى كمية مطر يومية يحتمل سقوطها على الحوض في فترات الرجوع المختارة (٥، ١٠، ٢٥، ٥٠، ١٠٠ سنة) بغرض حساب أو تقدير أحجام المياه التي يدفعها الوادي عبر مخرجه (مصبه) في هيئة سيول، ولإنجاز هذا العمل تم اتباع الخطوات الآتية:

١- تمت الاستعانة ببيانات أقصى كمية مطر يومية لفترات رجوع Return Periods مختارة (الجدول رقم ١١).

جدول (١١) أقصى أمطار يومية لفترات رجوع مختارة

(أمانة منطقة القصيم، ١٤٣٣هـ - ٢٠١٢م)

فترات الرجوع (بالسنين)	٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠
أقصى أمطار يومية (مم)	٣٣	٤١	٥٤	٦٥	٧٧

٢- معلوم بالضرورة أن الأمطار التي تسقط على الحوض لا تصل كلها إلى مخرجه، وإنما يُفْقَد منها جزءٌ كبيرٌ عن طريق التبخر والتسرب في التربة والتكوينات السطحية والصخور، فضلا عن أن القيعان والمنخفضات تستأثر بجزء من هذه المياه، ولا تفيض منها المياه سوى بعد امتلائها بشكل كامل، ولهذا تهتم الدراسات الهيدرولوجية التطبيقية بحساب الفاقد باختلاف أشكاله

من كميات الأمطار التي تسقط على الحوض، قبل الشروع في تقدير الحجم الفعلي للسيول التي تصل إلى مخرج الوادي.

والحقيقة أن SCS (1972) اختبرت ٨٥٠٠ مجموعة من التربات على مستوى العالم، وقسمتها إلى أربع مجموعات هيدرولوجية Hydrologic groups (A, B, C, and D) بناء على طاقة الرشح والتسرب Infiltration، وعلى جانب آخر، أجريت دراسة ميدانية للتربة في حوض وادي الوطاة، وأظهرت تلك الدراسة أن تربة الحوض تنتمي لخصائص تربات المجموعة الأولى (A)، وهي مجموعة التربات الصحراوية خشنة القوام عالية النفاذية، التي تتسم بطاقة جريان منخفضة Low Runoff Potential، ولهذا تندرج تحت المنحنى رقم ٦٣ (CN= 63) Curve Number وعلى هذا الأساس تم حساب الفاقد من مياه الأمطار التي يستقبلها الحوض قبل حدوث جريان سطحي (الخطوة التالية).

٣- حساب نسبة الفاقد من مياه الأمطار عن طريق التسرب والتبخر والتخزين داخل القيعان والمنخفضات التي تكتنف سطح الأرض داخل الحوض، ويطلق على هذا الفاقد Initial Abstraction (IA)، ويحسب من المعادلة الآتية:

$$I_a = 0.2 \times S \quad (13) \quad where \quad S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (14)$$

وبالتطبيق على الحوض موضوع الدراسة اتضح أن المتغير S= ١٤٩,١٧ مم، ولهذا فإن IA= ٢٩,٨٣ مم، **ويعنى هذا أن أية كمية مطر تسقط في يوم واحد تساوى أو تقل عن ٢٩,٨٣ مم لن ينتج عنها جريان سطحى في حوض**

وادي الوطاة، وكذلك أحواض الأودية في منطقة القصيم، وربما أيضا أحواض معظم الأودية الكبرى في المملكة العربية السعودية.

٤- استقطاع نسبة الفاقد من كميات الأمطار اليومية المتوقع سقوطها في فترات الرجوع المختارة (جدول) باستخدام المعادلة الآتية:

$$Q_d = \frac{(P^* - I_a)^2}{P^* + (0.8 \times S)} \quad For\ P^* > 0.2 \times S \qquad (15)$$

$$Q_d = 0 \ for \ P^* \leq 0.2 \times S \qquad (16)$$

حيث إن: Q_d= كمية المياه المتبقية (مم) التي تشكل جريانا سطحيا حقيقيا داخل الحوض، P^* = أقصى كمية مطر يومية (مم) محتمل سقوطها في كل فترة من فترات الرجوع على حدة، Ia= حجم الفاقد من مياه الأمطار (٢٩,٨٣مم)، S= معامل يعبر عن أقصى طاقة لاحتفاظ التربة بالمياه، أي أنه دالة لخصائص التربات وسطح الأرض داخل الحوض (تبلغ قيمته في منطقة الدراسة ١٤٩,١٧مم).

٥- حساب الجريان السطحي المباشر، وأحجام التصريف المائي في فترات الرجوع المختارة عن طريق عملية Hydrograph Convolution بالاعتماد على متغيرين أساسيين هما: قيم التصريف على الهيدروجراف القياسي UH Ordinates (U_n)، والحجم المتبقي من مياه الأمطار Rainfall Excess (P_i) (بعد استقطاع نسبة الفاقد)، وأجرى هذا التطبيق على المنحنى الهيدروجرافي الذى تم تصميمه باستخدام نموذجى Snyder and SCS، وعن طريق المعادلتين التاليتين رقمي (١٧ ، ١٨)، وتوضح الجداول أرقام (١٢/١٣/١٤/١٥/١٦) والأشكال أرقام (١١/١٢) نتائج التطبيق.

$$Q_n = \sum_{i+1}^{n} P_i U_n - i + 1 \qquad (17)$$

$$Q_n = P_n U_1 + P_{n-1} U_2 + \cdots + P_1 U_j \qquad (18)$$

حيث إن: Q_n= الجريان السطحي المباشر Direct Runoff، P_i= الحجم المتبقي من مياه الأمطار بعد استقطاع نسبة الفاقد Excess Rainfall، Us= قيم الهيدروجراف القياسي UH ordinates حيث (j= n-i+1). ويوضح الجدول التالي (رقم ١٢) طريقة التطبيق.

جدول (١٢)

Time interval (hr)	Excess Rainfall (mm)	Unit Hydrograph Ordinates								Total Direct Runoff (m3/s)
		1	2	3	4	5	6	7	8	
		U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	
N= 1	P1	P1 U1								P1U1
2	P2	P2 U1	P1 U2							P2U1+P1U2
3	P3	P3 U1	P2 U2	P1 U3						P3U1+P2U2+ P1U3
4	P4	P4 U1	P3 U2	P2 U3	P1 U4					P4U1+P3U2+P2 U3+P1U4
5	P5	P5 U1	P4 U2	P3 U3	P2 U4	P1 U5				P5U1+P4U2+P3 U3+P2U4+P1U5
6			P5 U2	P4 U3	P3 U4	P2 U5	P1 U6			P5U2+P4U3+P3 U4+P2U5+P1U6
7				P5 U3	P4 U4	P3 U5	P2 U6	P1 U7		P5U3+P4U4+P3 U5+P2U6+P1U7
8					P5 U4	P4 U5	P3 U6	P2 U7	P1 U8	P5U4+P4U5+P3 U6+P2U7+P1U8
9						P5	P4	P3	P2	P5U5+P4U6+P3

Time interval (hr)	Excess Rainfall (mm)	Unit Hydrograph Ordinates								Total Direct Runoff (m3/s)
		1	2	3	4	5	6	7	8	
		U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	
						U5	U6	U7	U8	U7+P2U8
10							P5 U6	P4 U7	P3 U8	P5U6+P4U7+P3 U8
11								P5 U7	P4 U8	P5U7+ P4U8
12									P5 U8	P5U8

جدول ١٣(ساعة)

Time interval (hr)	Excess Rainfall (mm)	Unit Hydrograph Ordinates								Total Direct Runoff (m3/s)
		1	2	3	4	5	6	7	8	
		22.37	**52.03**	**34.34**	**16.65**	**8.06**	**3.90**	**1.87**	**0.93**	
N= 1	**0.066**	**1.48**								1.48
2	**0.78**	**17.45**	**3.43**							20.88
3	**3.37**	**75.39**	**40.58**	**2.27**						118.24
4	**6.71**	**150.10**	**175.34**	**26.79**	**1.10**					353.33
5	**11.33**	**253.45**	**349.12**	**115.73**	**12.99**	**0.53**				731.82
6			**589.50**	**230.42**	**56.11**	**6.29**	**0.26**			882.58
7				**389.07**	**111.72**	**27.16**	**3.04**	**0.12**		831.11
8					**188.64**	**54.08**	**13.14**	**1.46**	**0.06**	257.38
9						**91.32**	**26.17**	**6.30**	**0.73**	124.52
10							**44.19**	**12.55**	**3.13**	59.87
11								**21.19**	**6.24**	27.43
12									**10.54**	10.54
										Total = 3419.18

جدول ١٤(ساعتان)

Time interval (hr)	Excess Rainfall (mm)	Unit Hydrograph Ordinates								Total Direct Runoff (m3/s)
		1	2	3	4	5	6	7	8	
		22.37	52.03	34.34	16.65	8.06	3.90	1.87	0.93	
N= 1	0.066	1.40								1.40
2	0.78	16.55	3.26							19.81
3	3.37	71.51	38.49	2.15						112.15
4	6.71	142.39	166.28	25.40	1.04					335.11
5	11.33	240.42	331.07	109.73	12.32	0.50				694.04
6			559.02	218.48	53.21	5.97	0.24			836.92
7				368.90	105.95	25.78	2.89	0.12		503.64
8					178.90	51.33	12.47	1.39	0.06	244.15
9						86.67	24.83	5.99	0.69	118.18
10							41.92	11.94	2.99	56.85
11								20.17	5.97	26.14
12									10.08	10.08
										Total = 2958.47

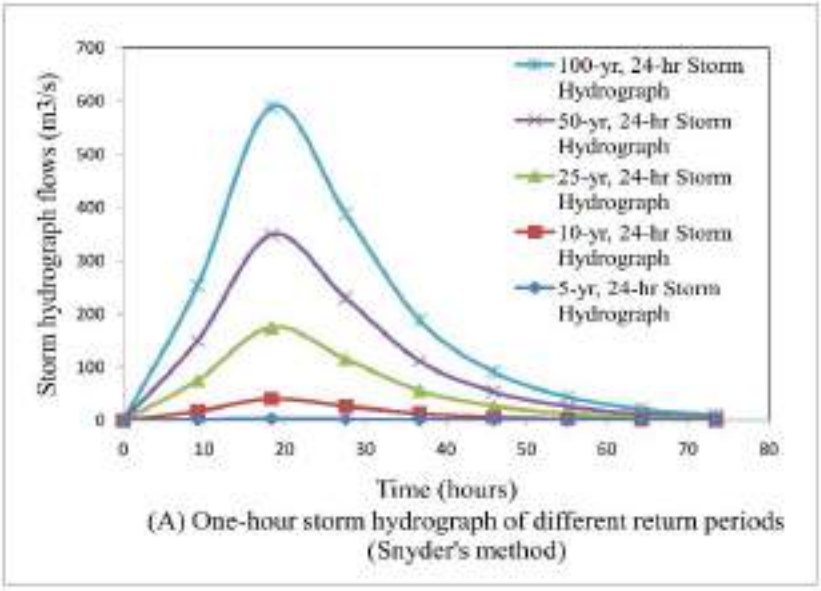
جدول١٥ (٣ ساعات)

Time interval (hr)	Excess Rainfall (mm)	Unit Hydrograph Ordinates								Total Direct Runoff (m3/s)
		1	2	3	4	5	6	7	8	
		22.37	52.03	34.34	16.65	8.06	3.90	1.87	0.93	
N= 1	0.066	١,٣٣								١,٣٣
2	0.78	١٥,٧٤	٣,١٠							١٨,٨٤
3	3.37	٦٨,٠١	٣٦,٦٠	٢,٠٥						١٠٦,٦٦
4	6.71	١٣٥,٤١	١٥٨,١٢	٢٤,١٦	٠,٩٩					٣١٨,٦٨
5	11.33	٢٢٨,٦٤	٣١٤,٨٣	١٠٤,٣٧	١١,٧١	٠,٤٨				٦٦٠,٠٣
6			٥٣١,٦٠	٢٠٧,٨١	٥٠,٥٨	٥,٦٧	٠,٢٣			٧٩٥,٨٩
7				٣٥٠,٨٩	١٠٠,٧٢	٢٤,٥٠	٢,٧٥	٠,١١		٤٧٨,٩٧
8					١٧٠,٠٦	٤٨,٧٨	١١,٨٦	١,٣٢	0.06	٢٣٢,٠٨

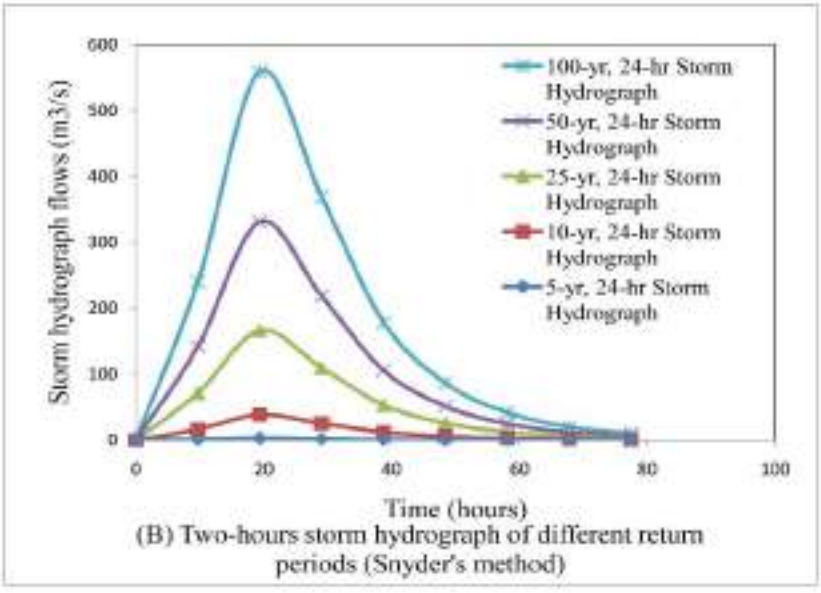
Time interval (hr)	Excess Rainfall (mm)	Unit Hydrograph Ordinates								Total Direct Runoff (m3/s)
		1	2	3	4	5	6	7	8	
		22.37	52.03	34.34	16.65	8.06	3.90	1.87	0.93	
9						٨٢,٣٧	٢٣,٦٢	٥,٧٠	٠,٦٦	١١٢,٣٥
10							٣٩,٨٨	١١,٣٤	٢,٨٣	٥٤,٠٥
11								١٩,١٥	٥,٦٤	٢٤,٧٩
12									٩,٥٢	٩,٥٢
										Total = ٢٨١٣,١٩

جدول (١٦)

Time interval (hr)	Excess Rainfall (mm)	Unit Hydrograph Ordinates (m3/s) (SCS method)								Total Direct Runoff (m3/s)
		1	2	3	4	5	6	7	8	
		10.28	23.91	15.78	7.65	3.71	1.79	0.86	0.43	
N= 1	0.066	0.68								0.68
2	0.78	8.02	1.58							9.60
3	3.37	34.64	18.65	1.04						54.33
4	6.71	68.98	80.58	12.31	0.50					162.37
5	11.33	116.47	160.44	53.18	5.97	0.24				336.30
6			270.90	105.88	25.78	2.89	0.12			405.57
7				178.79	51.33	12.50	1.40	0.06		244.08
8					86.67	24.89	6.03	0.67	0.03	118.29
9						42.03	12.01	2.90	0.34	57.28
10							20.28	5.77	1.45	27.50
11								9.74	2.89	12.63
12									4.87	4.87
										Total = 1433.50



(A) One-hour storm hydrograph of different return periods (Snyder's method)



(B) Two-hours storm hydrograph of different return periods (Snyder's method)

شكل (١١) هيدروجراف لأمطار مدتها ساعة (A) ، وأمطار مدتها ساعتين (B) تسقط على حوض وادي الوطاة في فترات رجوع مختارة (طريقة سنايدر)

شكل (١٢) هيدروجراف لأمطار مدتها ثلاث ساعات (A) (سنايدر)، وهيدروجراف العاصفة (B) (SCS) لحوض وادي الوطاة في فترات رجوع مختارة

يوضح الجدول التالي (رقم١٧) والشكل (رقم ١٣) قيم تدفق الذروة لهيدروجراف السيول (العاصفة) Storm hydrograph peak flows لحوض وادي الوطاة، و التي تم حسابها بناء على قيم الهيدروجراف القياسي Synthetic Unit Hydrograph، وأقصى كميات أمطار يومية في فترات الرجوع المختارة بعد استقطاع نسبة الفاقد منها، ومن الجدول والشكل يتضح الآتي:

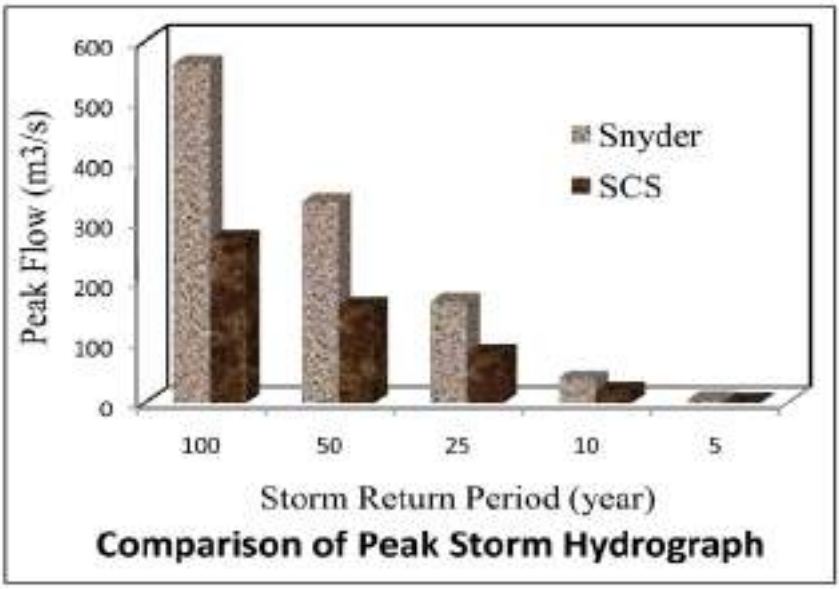
جدول (١٧) تدفق الذروة (م٣/الثانية) لهيدروجراف أقصى كمية أمطار يومية محتملة السقوط على حوض وادي الوطاة في فترات الرجوع المختارة

الطريقة		فترات الرجوع المختارة لأقصى كمية مطر يومية				
		٥ سنوات	١٠ سنوات	٢٥ سنة	٥٠ سنة	١٠٠ سنة
Snyder	1-hr	٣,٤٣	٤٠,٥٨	١٧٥,٣٤	٣٤٩,١٢	٥٨٩,٥٠
	2-hr	٣,٢٦	٣٨,٤٩	١٦٦,٢٨	٣٣١,٠٧	٥٥٩,٠٢
	3-hr	٣,١٠	٣٦,٦٠	١٥٨,١٢	٣١٤,٨٣	٥٣١,٦٠
	المتوسط	٣,٢٦	٣٨,٥٦	١٦٦,٥٨	٣٣١,٦٧	٥٦٠,٠٤
SCS		١,٥٨	١٨,٦٥	٨٠,٥٨	١٦٠,٤٣	٢٧٠,٩٠

١- يبلغ تدفق الذروة في وادي الوطاة المحسوب بنموذج سنايدر (Snyder's Model) في فترات الرجوع المختارة (٥، ١٠، ٢٥، ٥٠، ١٠٠ سنة) ٣,٢٦ م٣/الثانية، ٣٨,٥٦ م٣/الثانية، ١٦٦,٥٨ م٣/الثانية، ٣٣١,٦٧ م٣/الثانية، ٥٦٠,٠٤ م٣/ الثانية على التوالي.

٢- يبلغ تدفق الذروة في وادي الوطاة المحسوب بنموذج الهيئة الأمريكية لخدمة صيانة التربة (SCS's Model) في فترات الرجوع المشار إليها ١,٥٨ م^{٣}/الثانية، ١٨,٦٥ م^{٣}/الثانية، ٨٠,٥٨ م^{٣}/الثانية، ١٦٠,٤٣ م^{٣}/الثانية، ٢٧٠,٩٠ م^{٣}/الثانية على التوالي.

٣- جاءت قيم تدفق الذروة في وادي الوطاة المحسوبة بنموذج "سنايدر" ضعف قيم تدفق الذرة المحسوبة بنموذج الهيئة الأمريكية لخدمة صيانة التربة في كل فترات الرجوع المختارة، والحقيقة أن قيم تدفق الذروة المحسوبة بنموذج الهيئة الأمريكية أكثر واقعية، حيث يعتمد في حسابه على متوسط أقصى كمية مطر سقطت على الحوض في يوم واحد، بينما يعتمد نموذج "سنايدر" على بعض الخصائص المورفومترية للحوض، فضلا عن اعتماده على قيمة كل معامل من هذين المعاملين (C_p & C_t) اللذان يعبران عن طاقة التسرب المائي في التربة والتكوينات (النفاذية) داخل الحوض، والسعة التخزينية للحوض من المياه، وانحدار سطح الأرض داخل الحوض، ولهذا فإن نقل قيمتي هذين المعاملين من أحواض مجاورة ومقاسة هيدرولوجيا، ولها أو تكاد نفس الخصائص الجيولوجية والمورفومترية للحوض موضوع الدراسة أمرٌ ضروري في إِحْكَام تقدير أحجام السيول باستخدام نموذج سنايدر.



شكل (١٣) قيم تدفق الذروة لهيدروجراف سيول وادي الوطاة المحسوبة بنموذج Snyder والمحسوبة بنموذج SCS

مناقشة وتحليل نتائج الدراسة المورفومترية والهيدرولوجية لحوض وادي الوطاة

توصلت الدراسة المورفومترية والهيدرولوجية لحوض وادي الوطاة إلى عدد من النتائج يمكن مناقشتها على النحو الآتي :

١- بلغت مساحة حوض وادي الوطاة ٥٥٤,٥٠ كيلومترا مربعا، في حين بلغ طوله من المنابع إلى المصب (مخرج الوادي) ٥١ كيلومترا، بينما بلغ طول المجرى الرئيس من المصب وحتى خط تقسيم المياه عند المنابع ٧٢,٩٤ كيلومترا، أما طول المجرى الرئيس من المصب وحتى نقطة تقترب من مركز

الثقل الحوضي فبلغ ٤٥,٥٠ كيلومترا، ويبدو أن هذه الأبعاد أكسبت الحوض شكلاً طوليًا، حيث بلغت استدارته ٠,٢٢، بينما بلغت استطالته ٠,٢٦، وانعكس ذلك على بطء استجابة الحوض لأحداث المطر، وزيادة زمن التركيز، الأمر الذى يرفع من معدل الفاقد من مياه الأمطار داخل الحوض، ويحد من خطورة أوديته.

٢- بلغت التضاريس الكلية لحوض وادي الوطاة ٢٥١ مترا، بينما بلغت نسب التضاريس، والتضاريس النسبية، ورقم الوعورة ٣,٥٥، ٠,١٤، ٤,٧٤ على التوالي، وتعكس تلك القيم ضعف انحدار سطح الأرض داخل الحوض، وبصفة خاصة في قطاعه الأوسط والأدنى، ونتيجة لذلك تنخفض سرعة الجريان المائي، ويزداد زمنا الاستجابة والتركيز، وبالتالي يتسبب ذلك في ضعف التصريف وطاقة الجريان في الأوقات التي يستقبل فيها الحوض أمطارًا عادية.

٣- بلغن قيم التكامل الهيبسومترى لحوض وادي الوطاة ٦٤٪، أي أنه أزال بالنحت والتعرية ٣٦٪ فقط من المادة الصخرية في حوضه، وتعكس هذه النتيجة (خاصة إذا ما تم تعزيزها بقيم تضاريس الحوض) وجود مناطق واسعة داخل الحوض لَّما تتخدد وتتحول إلى منحدرات، فضلًا عن كثرة الكتل والحافات الصخرية داخل الحوض.

٤- تفاوتت كثافة التصريف على مستوى رتب المجاري، حيث تراوحت بين ٢,٠٢- ٤,٥٩ كم/كم^{٢}، بمتوسط عام بلغ ٣,٣٣ كم/كم^{٢}، وهى بشكل عام كثافة منخفضة تعكس خشونة النسيج الطبوغرافي للحوض رغم قلة الغطاء النباتي، بينما تراوحت قيم تكرارية المجاري بين ٠,٠٤- ٤,٥٠

رافد/كم^{2} ، بمتوسط عام بلغ ١,٨٨ رافد/كم^{2} ، وهو أيضا بشكل عام تكرار منخفض يأتي تعزيزا لانخفاض كثافة التصريف ، ولا شك في أن تلك النتائج وثيقة الصلة بالخصائص الهيدرولوجية للحوض ، وأغلب الظن أن مياه الأمطار تجرى فوق الأسطح في شكل فيضانات غطائية ، وبالتالي تستغرق وقتا طويلا حتى تصادف مجارى مائية ، وتحت تأثير عامل الوقت تفقد المياه جزءًا كبيرًا منها عن طريق التسرب داخل التربة ، وبالتالي تقل قيمتها الفعلية ، وينعكس ذلك على زمنى الاستجابة والتركيز.

٥- بلغ زمن استجابة الحوض (المحسوب بنموذج سنايدر) ١٨,٢٠ ساعة ، بينما بلغ زمن الاستجابة لهيدروجراف ساعة ، وساعتين ، وثلاث ساعات ١٨,٣٧ ، ١٩,٣٧ ، ٢٠,٣٧ ساعة على التوالي ، في حين بلغ حجم المياه في ذروة التصريف ٥٢,٠٣ م^{3}/الثانية لهيدروجراف ساعة ، ٤٩,٣٤ م^{3}/الثانية لهيدروجراف ساعتين ، ٤٦,٩٢ م^{3}/الثانية لهيدروجراف ثلاث ساعات.

٦- بلغ زمن التركيز لحوض وادي الوطاة (المحسوب بنموذج SCS) ٣٢,١٤ ساعة ، بينما بلغ زمن الوصول إلى ذروة التصريف ٢١,٤٢ ساعة ، ويبلغ حجم المياه في ذروة التصريف ٢٣,٩١ م٣/الثانية.

والملاحظ أن حجم المياه في ذروة تصريف وادي الوطاة للهيدروجراف القياسي المصمم بنموذج سنايدر جاء تقريبا ضعف حجم المياه في ذروة التصريف للهيدروجراف القياسي المصمم بنموذج SCS ، ورغم ذلك قد لا تبتعد هذه النتائج في الحالتين عن الواقع ، ويمكن الاعتماد عليها في حساب متغيرات هيدروجراف السيول الفعلية التي يدفعها وادي الوطاة في أعقاب

العواصف الممطرة التي تعد أهم حدث مناخي في البيئات الجافة. وللمقارنة فإن تصريف نهر الفرات عند الحدود السورية التركية يبلغ ٥٠٠ م٣/الثانية، بينما يصل تصريف النيل الأبيض عند الخرطوم إلى ١٠٤٠ م٣/الثانية.

* * *

الخاتمة

تجدر الإشارة إلى أنه إذا سقطت أمطار في يوم واحد تساوى أو تقل عن ٢٩,٨٣ مم لن ينتج عنها جريان سطحي في حوض وادي الوطاة، وربما أيضا أحواض معظم الأودية في منطقة القصيم، وتضع تلك النتيجة تفسيرا لعدم جريان الأودية في بعض الأوقات رغم سقوط الأمطار، والآن بات معلوما أن أي كمية مطر تساوى أو تقل عن الكمية المشار إليها تُفْقَد بالتسرب داخل تربة الحوض وتكويناته في إطار ما يعرف باسم **Initial abstraction** وبالتالي لا ينتج عنها جريان سطحي ينتهى إلى مخرج الوادي، ولهذا فإن مجرد خروج المياه من مخارج أودية القصيم، قد يعنى أن أحواضها استقبلت أمطار تجاوزت الكمية المذكورة. وادي الوطاة متوازناً جيومورفولوجياً وهيدرولوجيا ، ولا يبدو ذو خطورة حال جريانه المعتاد، حيث أن السيول تأخذ وقتاً طويلاً في التحول من منابعه إلى مصبه ، وهذا يمكنها من التسرب (معظم الصخور والتكوينات داخل الحوض عالية المسامية والنفاذية ويغلب عليها التفصم والتخلع) وكذلك البخر، من هنا يمكن القول أن قيمتها الفعلية تقل ، وفي ضوء ما ذكر تتوقع الدراسة الحالية وجود كميات لا بأس بها من المياه تحت السطحية القريبة من السطح ، وتؤكد أنه يحسن استغلالها والاستفادة منها في المجالات التنموية، كما توصى هذه الدراسة بعدم وجود حاجة لإقامة مصدات مائية أو سدود خرسانية على مجرى الوادي في أي موقع أو قطاع منه، لأنها سوف تصبح بدون جدوى ولا فائدة.

* * *

مراجع عربية :

-الـدغيري، أحمدعبـدالله ، العوضـي، حمدينـة عبـد القـادر ٢٠١٣ : التطـور الجيومورفولـوجي والتحليـل المورفـومتري لحـوض وادي السـهل بمنطقـة القـصيم، الجمعية الجغرافية الكويتية، الكويت، العدد ٣٨٨.

- الـدغيري، أحمـد عبـد الله، الـوهيبي، آلاء عبـد الله ٢٠١٦ : التحليـل الجيومورفولـوجي لحـوض وادي النساء باسـتخدام تقنيـات الاسـتشعار عـن بعـد ونظم المعلومات الجغرافية ، مجلة العلوم العربية والانسانية ، عدد٩ رقم٢.
- العوضى، حمدينه عبد القادر (٢٠٠٢) أحواض التصريف بحوض المدينة المنورة، المملكة العربية السعودية – دراسة جيومورفولوجية، إصدارات مجلة كلية الآداب، جامعة الإسكندرية.
- بوروبـه، محمـد (٢٠٠٧) دراسـة هيدرومورفومتريـة لتقـدير حجـم سـيول حـوض وادي عتود بالمملكة العربية السعودية، سلسلة الإصدارات الخاصة، عـدد (٢١)، مركز دراسات الخليج والجزيرة العربية، الكويت.
- سـلامة، حـسن رمـضان (١٩٨٠) التحليـل الجيومورفولـوجي للخـصائص المورفومترية للأحواض المائية بالأردن، دراسات، العلوم الإنسانية، مجلد ٧، عدد ١، ص .ص ٩٧- ١٣٢.
- شـاور، آمـال إسماعيـل (١٩٨٢) التعـبير الكمـي لـدورة التعريـة عنـد دافيـز، مـع التطبيق على بعض الأودية في مصر، المجلة الجغرافية العربية، العـدد الرابـع عـشر، ص .ص ٣٩- ٨٠.

مراجع غير عربية :

-Al Dughairi، A.، 2011: Late Quaternary Palaeoenvironmental Reconstruction in the Burydah area، Central Saudi Arabia، PhD. thesis submitted to University of Leicester.UK

- Arora, K.R. (2004): Irrigation, Water Power and Water Resources Engineering, Standard Publishers Distribution, Delhi, pp. 96- 99.

- Cooke, R.U. and Warren, A. (1975) Geomorphology in Desert. Second Edit. London, p. 155.

- Fleitmann, D., Matter, A., Pint, J., Al Ahanti, M. 2004: The Speleothem record of climate change in Saudi Arabia.Suadi Geological survey. Riyadh.

- Glock, W.S. (1931): The Development of Drainage Systems: A Synoptic View, Geogr. Rev., 21, pp. 74- 83.

- Gregory, K.J. and Walling, D.E. (1973): Drainage Basin: Form and Process- A Geomorphological Approach. (John Willey), New York, pp. 39- 51.

- Hails, J.R. (1977): Applied Geomorphology, Amsterdam, p. 123.

- Horton, R.E. (1932): Drainage Basin Characteristics. Am. Geophys. Union, Trans. 13, pp. 348- 352.

- Horton, R.E. (1945): Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins. Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. Bulletin of the Geological Society of America 56, 275-370.
- Howard, R.D. (1967): Drainage Analysis in Geologic Interpretation a Summation of American Association of Petroleum Geologists, Bull. Vol. 5, No. 11, pp. 2246- 2259.
- Manivit ،J. ،Denis ،V. ،Alain ،B. ،Paul ،L. and Jackie ،F. ، 1986: Explanatory notes to the geologic map of the Burydah Quadrangle ،Sheet 26G. Kingdom of Saudi Arabia ،Ministry of petroleum and Mineral Resources Saudi Arabia.
- Miller, V.C. (1953): A Quantitative Geomorphic Study of Drainage Basin Characteristics in the Clinch Mountain Area, Varginia and Tennessee. Project. 3, Columbia University, Department of Geology, ONR, Geography Branch, New York.
- Morisawa, M. (1985): Rivers: Form and Process, New York, P. 151.
- Ogunlela, A.O. and Kasali, M.Y. (2002): Evaluation of Four Methods of Storm Hydrograph Development for an Ungaged Watershed. Published in Nigerian Journal of Technological

Development. Faculty of Engineering and Technology, University of Ilorin, Ilorin, Nigeria. (2), pp. 25- 34.

- Ramirez, J.A. (2000): Prediction and Modelling of Flood Hydrology and Hydraulics. Chapter 11 of Inland Flood Hazards: Human, Riparian and Aquatic Communities. Edited by Ellen Wohl; Cambridge University Press.
- Ritter, D.F.; Kochel, R.C. and Miller, J. R. (1995): Process Geomorphology. Third Edit. London. pp. 240- 246.
- Saad, K.F.; El-Shamy, I.Z. and Sweiden, A.S. (1980) :Quantitative Analysis of the Geomorphology and Hydrology of Sinai Peninsula, Annals of Geol. Surv. of Egypt, Vol.10, pp. 819- 836.
- Salami, A.W. (2009): Evaluation of Methods of Storm Hydrograph Development. International Egyptian Engineering Mathematical Society, IEEMS, Zagazig Univ. Pub. Vol. (6), pp. 17- 28.
- Schumm, S.A. (1956): Evolution of Drainage Systems and Slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey. Geol. Soc. Am. Bull.67, pp. 597- 646.

- SCS (2000, 2002): Soil Conservation Service. Design Hydrographs. US Department of Agriculture, Washington, D.C.
- Small, R.J. (1989): Geomorphology and Hydrology. Long. London & New York, pp. 47- 49.
- Strahler A.N. (1957) :Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. Am. Geophysics. Union Trans. Vol. 38, p. 20.
- Sule, B.F. and Alabi, S.A. (2013): Application of Synthetic Unit Hydrograph Methods to Construct Storm Hydrographs. International Journal of Water Resources and Environmental Engineering. Vol. 5(11), pp. 639- 647.
- Viessman, W.Jr. (2008): Introduction to Hydrology, Prentice-Hall of India Private Ltd, New Delhi.
- Viessman, W.Jr., Knapp, J.W. and Lewis, G.L. (1989): Introduction to Hydrology. Harper and Row Publishers, New York.
- Wurbs, R.A. and James, W.P. (2010): Water Resources Engineering, PHI Learning Private Ltd, New Delhi.

* * *

- Shawir, I. (1982). Al-ta`bīr al-kammī li-dawrat al-ta`riya `ind dāfīz ma` al-taTbīq `alā ba`dh al-awdiya fī misr. *Arabian Geographic Journal*, (14), 39-80.

* * *

Arabic References

- Al-`Awadhī, `A (2002). Ahwād al-taSrīf bi-hawdh al-madīna al-munawara bil-mamlaka al-`Arabiyya al-Su`ūdiyya: Dirāsa jiūmorfolojiyya. *Journal of College of Literature at Alexandria University*.
- Al-Dughairī, A. & Al-`Awadhī, `A (2013). Al-taTawur al-jiūmorfolojī wa al-tahlīl al-morfomitrī li-hawdh wādī al-sahl bi-mantiqat al-qasīm. *Geographical Society of Kuwait,* (338).
- Al-Dughairī, A. & Al-Wuhaibī, A (2016). Al-tahlīl al-jiūmorfolojī li-hawdh wādī al-nisā- bi-istikhdām tiqniyāt al-istish`ār 'an bu‘d wa nuzhum al-ma`lūmāt al-jughrāfiyya. *Journal of Arabic and Human Sciences, 2*(9).
- Būrawba, M. (2007). Dirāsa hīdrūmorfomitriyya li-taqdīr hajm suyūl hawdh wādī `itūd bil-mamlaka al-`Arabiyya al-Su`ūdiyya. *Center of Gulf and Arabian Peninsula Studies,* (21).
- Salāma, H. (1980). Al-tahlīl al-jiūmorfolojī lil-khasā is al-morfomitriyya lil-ahwādh al-mā`iyya bil-urdun. *Dirāsāt: Al-'Ulūm Al-Insāniyya, 7*(1), 97-132.

Hydro-morphometric Analysis and Estimation of Torrents in the Basin of Al-WaTah Valley in Al-Qassim Region

Dr. Ahmad Al-Dughairi
Department of Geography
Collage Of Arabic Language and Social Studies
Al-Qassim University

Dr. Hamdeno A. Al-Awadi
Department of Geography
Collage Of Arabic Language and Social Studies
Al-Qassim University

Abstract:

Al-Qassim region receives heavy rainfall at certain times. Consequently, the valleys flow at full capacity, which poses a real threat to urbanization, roads and some of the facilities located on their way. Al-WaTah valley is considered as one of Al-Qassim's valleys that are capable of converting rainfall into large floods. This is what has already happened in the past years, when the waters of Al-WaTah valley outflowed into Ar-Rummah valley. It then became a source of danger after its lower course was blocked because it was covered with sand resulting from the effect of the wind. Moreover, the urban area of Buryadah City has expanded Northwards and Eastwards and occupies now part of the course of the valley. Thus, a hydro-morphometric study to estimate the volume of the floods of Al-WaTah valley after rainfall is necessary to determine the extent of their danger, to enable officials and decision-makers to protect the city from this danger, and discuss ways to benefit from the floods water. The present study is based on Snyder's Model and on the American Soil Conservation Serves (SCS) in calculating the standard hydrograph values of the valley basin. The unit hydrographic ordinates were used to calculate the variables and values of storm hydrograph based on the actual data of the maximum daily rainfall recorded by Buraidah station in 45 years (from 1965 to 2009) and based on an estimation of the maximum amount of expected daily rainfall on the basin in the selected reference periods (5, 10, 25, 50, 100 years), in order to calculate or estimate the water volume which the valley flows through its outlet in the form of torrents. The study shows that the peak flow in Al-WaTah valley calculated by Snyder's Model in the selected reference periods (5, 10, 25, 50, 100 years) was 3.26 m^3/s, 38.56 m^3/s, 166.58 m^3/s, 331.67 m^3/s, 560.04 m^3/s, respectively. On the other hand, the peak flow in Al-Watah valley calculated by the American SCS model in the selected reference periods was 1.58 m^3/s, 18.65 m^3/s, 80.58 m^3/s, 160.43 m^3/s, 270.90 m^3/s, respectively.

Keywords: Unit hydrograph, Storm hydrograph, Watershed, Morphometric analysis, Hydrologic analysis.