

التوظيف المتكامل لمخرجات النماذج الهيدرولوجية والمناخية في نمذجة عناصر الميزانية المائية بحوض وادي فاطمة (المملكة العربية السعودية)

صالح عبد المحسن الشمري *

تاريخ القبول 2022/07/24

DOI:https://doi.org/10.47017/32.1.9

تاريخ الاستلام 2022/04/28

الملخص

تعتمد هذه الدراسة على تطبيق نموذج منحنى التربة (NRCS-CN National Resources Conservation Service) في تقدير معامل الاستخلاص الأولي (Ia) والطاقة القصوى لاحتفاظ التربة بالمياه (S) والفائض المائي (Water Surplus) والجريان السطحي المباشر (Qa) من جهة، وعلى تطبيق نماذج Makkink و Turc و Jensen-Haise في تقدير الفاقد المائي بواسطة التبخر-نتح نظراً لعدم توفر قياسات فعلية يومية لهذا العنصر لحساب عناصر الميزانية المائية.

ولتحقيق أهداف الدراسة، تم استخدام خريطة موارد الأراضي لوزارة الزراعة بمقياس 1:500,000 لتحديد أرقام منحنى الجريان السطحي الموزون CNw الذي يعتمد عليه نموذج NRCS-CN في حساب متغيرات الجريان السطحي. كما تم توظيف أدوات التحليل المكاني المتاحة ببرنامج (WMS) Watershed Modeling System في تحديد مساحات التصريف لحوض وادي فاطمة وأحواض روافده المدروسة. كما اعتمدت منهجية الدراسة على أربعة مصادر خرائطية هي مخرجات المعالجة الرقمية لنموذج الارتفاعات الرقمي للقمر الصناعي الياباني الأمريكي العلمي المشترك (ASTER GDEM) بوضوح مكاني 30م في تحديد مساحات التصريف لحوض وادي فاطمة والأحواض الفرعية والخريطة الجيولوجية بمقياس 1:250,000 في تحديد التكوينات الصخرية والخريطة الطبوغرافية بمقياس 1:250,000 في تحديد مسميات التضاريس. بالإضافة إلى ذلك اعتمد تقدير عناصر الميزانية المائية على بيانات الأمطار اليومية القصوى المسجلة خلال 36 سنة مشتركة (1976-2011) بمحطات مكة (J114) وبحرة الجديدة (J102) الطائف (القديرة) (TA004) ووادي محرم (TA106) ومدركة (J214) التابعة لوزارة البيئة والمياه والزراعة.

ولقد أظهرت نتائج هذه الدراسة أن أرقام منحنى الجريان السطحي الموزون تتراوح بين 78.8 (حوض وادي مكة) و 92.5 (حوض وادي حورة) وأن المتوسط اليومي للأمطار اليومية القصوى يتراوح بين 29.4 ملم/يوم (أحواض أودية حورة وملح وصفية وذعر وبشم) و 39.0 ملم/يوم (حوضي وادي الفيضة ووادي الشعيب الأحمر) وأن المتوسط اليومي للطاقة القصوى لاحتفاظ التربة بالمياه يتراوح بين 19.4 ملم/يوم (حوض وادي ملح) و 68.5 ملم/يوم (حوض وادي مكة) وأن المتوسط اليومي لمعامل الاستخلاص الأولي يتراوح بين 4.1 ملم/يوم (حوض وادي حورة) و 13.7 ملم/يوم (حوض وادي مكة) وأن عمق الجريان السطحي المباشر المناسب لها يتراوح بين 8.9 ملم/يوم (حوض وادي زعر) و 22.5 ملم/يوم (حوض وادي ملح) وأن الفائض المائي اليومي من مياه الأمطار الناتج يتراوح بين 22.4 ملم/يوم (حوض وادي مكة) و 34.0 ملم/يوم (حوض وادي الفيضة) وأن كمية التسرب من مياه الأمطار تتراوح بين 6.3 ملم/يوم (حوض وادي حورة) و 9.3 ملم/يوم (حوض وادي مكة) وأن كمية التبخر-نتح اليومي تتراوح بين 3.6 ملم/يوم (بسته أحواض مائية) و 4.1 ملم/يوم (بثلاثة أحواض مائية).

وبناء على هذه النتائج توصي الدراسة بتطبيق نموذج NRCS-CN بأحواض التصريف التي تتوفر بها بيانات الأمطار وتغطية خرائطية طبوغرافية وجيولوجية كاملة تتيح الوصول إلى تقديرات دقيقة لعناصر الميزانية المائية بجميع مناطق المملكة العربية السعودية. كما توصي هذه الدراسة باعتماد مخرجات نموذج NRCS-CN كمرجع لأي نتائج يتم الحصول عليها بتطبيق النماذج الهيدرولوجية والمناخية الأخرى. كما توجه هذه الدراسة بتحديث نتائجها بما يستجد من بيانات مطرية ومناخية من فترة لأخرى.

الكلمات المفتاحية: الأمطار اليومية القصوى، نموذج NRCS-CN، التبخر-نتح، النماذج الهيدرولوجية والمناخية، الميزانية المائية، حوض وادي فاطمة، المملكة العربية السعودية.

المقدمة

تتعرض منطقة غرب المملكة العربية السعودية ذات الطبيعة الجافة لأمطار شديدة غير منتظمة تؤدي في كثير من الأحيان إلى حدوث سيول مبالغته تشكل خطراً يهدد المناطق العمرانية الممتدة في حدود أحواض تصريف أوديتها. ويزداد الوضع سوءاً داخل المناطق العمرانية التي تكثر بها مساحات السطوح غير المنفذة للماء كالشوارع والأبنية. ويتطلب الوضع الذي تتعرض له المناطق السكنية والعمرانية خلال فترات تساقط الأمطار إيجاد حلول كفيلة للحد من أخطار مياه السيول كإنشاء شبكات تصريف المياه الجارية السطحية داخل المدن أو بناء السدود وتحويلات إصطناعية على مجاري الأودية قبل دخولها إلى المناطق السكنية والعمرانية. ويعتمد إنشاء مثل هذه الحواجز لحماية البنى التحتية وغيرها للتعرف على قدرة الأحواض المائية في سرعة تحويل مياه الأمطار إلى جريان سطحي وما يشكله من خطر بيئي. ويتم عادة تحديد هذه القدرة بتحليل نظام الجريان الهيدرولوجي للأحواض المائية بواسطة القياسات الفعلية التي تتم للصيبي في المحطات الهيدرومترية المتواجدة على مجاري الأودية أو تقديرها بتطبيق النماذج الهيدرولوجية التي تم تصميمها لتقدير تدفق الجريان السطحي بأحواض التصريف التي لا تتوفر على محطات هيدرومترية كما هو الحال بالمناطق الجافة وشبه الجافة.

وفي هذا الإطار يعتبر نموذج NRCS-CN أكثر النماذج الهيدرولوجية استخداماً بأحواض التصريف الجافة وشبه الجافة كحوض وادي فاطمة موضوع هذه الدراسة. في عام 1933، تم إنشاء خدمة مصلحة حماية التربة (SES) Soil Erosion Service التي تم تغييرها لاحقاً إلى مصلحة صيانة التربة (SCS) Soil Conservation Service وتم تكليفها بإنشاء مشاريع حماية التربة من التعرية والتقهقر. وحينها أدركت مصلحة صيانة التربة SCS الحاجة إلى البيانات الهيدرولوجية عن معدلات الجريان السطحي. وإقرار قانون مكافحة الفيضانات لعام 1936 (القانون العام 74-738)، تم تكليف وزارة الزراعة بإنشاء محطات هيدرومترية لمراقبة نظام الجريان السطحي وعمليات تآكل التربة. وكخطوة أولى، تم إجراء آلاف القياسات لمعدلات التسرب في العديد من المواقع التي تم إنشاؤها في الثلاثينيات والأربعينيات من القرن الماضي لهذا الغرض من طرف مصلحة صيانة التربة SCS وغيرها من الوكالات في جميع أنحاء البلاد. وفي أوائل الأربعينيات من القرن العشرين، تم إستنباط بعض الطرق التي تستند إلى بيانات التسرب في تحديد الخصائص الهيدرولوجية للأحواض المائية وتقدير الجريان السطحي (Woodward et al., 2003).

وفي عام 1949 اقترح شيرمان (Sherman, 1949) فكرة تقدير الجريان السطحي المباشر من الجريان السطحي للعاصفة المطرية. وبناءً على هذه الفكرة، كما إقترح أيضاً في نفس الوقت موكيس (Mockus, 1949) تقدير الجريان السطحي من مجموعة من العوامل هي (نوع التربة، إستخدام الأرض، المساحة، الموقع، هطول الأمطار السابق، مدة وعمق العاصفة، متوسط درجة الحرارة السنوية وتاريخ العاصفة). كما أن (Andrews, 1954) قام بتجميع بيانات غير منشورة عن التسرب من تكساس، أوكلاهوما، أركنساس ولويزيانا ووجد أن صنف نسيج التربة هي السمة الوحيدة المتسقة داخل كل مجموعة من التربة.

وقد تمكن Andrews من تطوير طريقة بيانية لتقدير الجريان السطحي المباشر تعتمد على الاستخدام المتكامل لتركيبة التربة ونسيجها ونوع ونسبة الغطاء الأرضي وطرق صيانة التربة. وقدم (Musgrave, 1955) وصفاً للتصنيف الهيدرولوجي للتربة على أساس معدل تسربها، وتمكن من تحديد أربع مجموعات أساسية للتربة اعتماداً على الحد الأدنى لسعة التسرب هي A و B و C و D (Woodward et al., 2003). ويعد هذا التصنيف الهيدرولوجي لأنواع التربة اللبنة الأساس لتصميم نموذج منحني الجريان السطحي. وقد اعتمدت مصلحة صيانة التربة SCS على عملي Mockus و Andrews في توحيد طريقة تقدير الجريان السطحي بجميع أحواض التصريف التي لا تحتوي على محطات هيدرومترية دون اللجوء إلى معايرة التقدير. وقد شكل هذا العمل الأساس لوضع معادلة النموذج العام لتقدير الجريان السطحي التي تمكن من تطويرها لاحقاً بوضع الصيغة التالية: (Mockus Woodward et al., 2003)

$$F/S = Q/P$$

وفيها يمثل F الاحتفاظ الفعلي للتربة بالماء أثناء العاصفة المطرية و S الطاقة القصوى لاحتفاظ التربة بالماء عند بداية العاصفة المطرية و Q الجريان السطحي المباشر و P مجموع الأمطار أو الجريان السطحي الأقصى الممكن. وهي المعادلة التي تم تعديلها لاحقاً من طرف USDA Soil Conservation Service لتصبح في عام 1972 على شكل:

$$Q = [\left[(P - 0.2 S) \right]^2 / ((P - 0.8 S))]]$$

وفيهما Q كمية الجريان السطحي (ملم) و P كمية الأمطار (ملم) و S الطاقة القصوى لاحتفاظ التربة بالماء (ملم) وهي تساوي:
 $S = 254 [100 / CN - 1]$

وفيهما يمثل CN رقم منحنى التربة.

ومن هذا المنطلق جاءت هذه الدراسة التي تستخدم هذا النموذج ونماذج تقدير التبخر في استخلاص عناصر الميزانية المائية لحوض وادي فاطمة وتقدير جريانه السطحي.

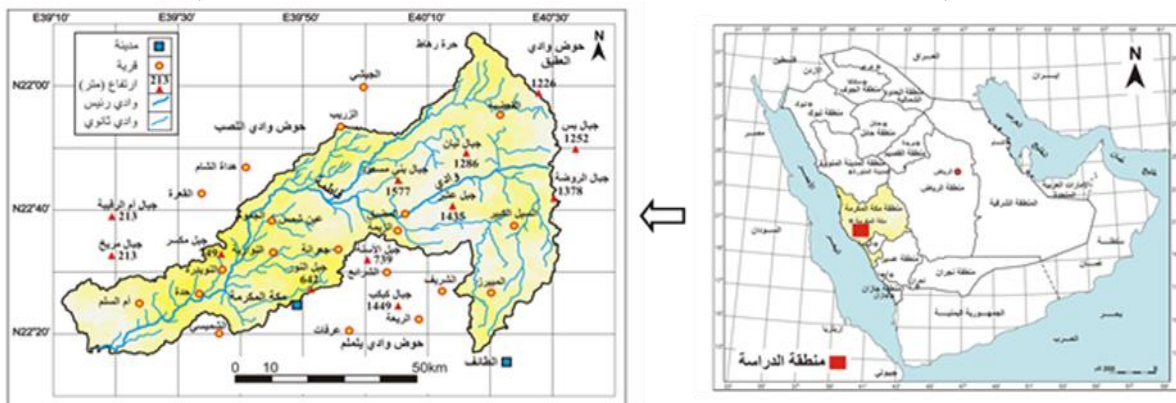
موضوع الدراسة وأهميته

يمثل تقدير حجم الفيضانات والسيول بالمناطق الجافة وشبه الجافة مشكلة بيئية كبيرة لما تلحقه من أضرار بالغة بالبنية التحتية وبالمناطق السكنية والعمرانية التي تمتد داخل أحواض التصريف. كما يمثل غياب القياسات الفعلية للجريان السطحي السيلي مشكلة لدراسة النظام الهيدرولوجي للأحواض المائية بهذه المناطق. ولذا يعتبر تقدير الجريان السطحي من المواضيع التي نالت اهتماماً كبيراً لدى الباحثين في المناخ والهيدرولوجيا والجيومورفولوجيا والهندسة، بحيث ظهرت منذ ثلاثينيات القرن الماضي الكثير من النماذج الهيدرولوجية التي يتم تطبيقها بهدف تقدير تدفق الذروة للسيول في الأحواض التي لا تحتوي على محطات هيدرومترية كحوض وادي فاطمة موضوع هذه الدراسة.

ولا يخفى على أحد مدى تفاقم هذه المشكلة في المملكة العربية السعودية خلال العقد الحالي وما نتج عن ذلك من خسائر بشرية واقتصادية، مما يستوجب تكثيف الدراسات الهيدرولوجية باستخدام التقنيات الحديثة التي تتصف بالدقة والسرعة في دراسة الخصائص الهيدرولوجية، التضاريسية والمساحية لأحواض التصريف. ومن هنا جاءت هذه الدراسة التطبيقية لتقدم إمكانية الاستفادة من التطبيقات المتكاملة لنموذج NRCS-CN ونماذج تقدير التبخر- نتح في حساب عناصر الميزانية المائية للفترة الممتدة من 1976 إلى 2011 (36 سنة) بحوض وادي فاطمة بمنطقة مكة المكرمة. وتعتبر هذه الفترة مشتركة بثماني محطات مطرية تم اعتماد بيانات أمطارها اليومية القصوى في حساب الميزانية المائية لحوض وادي فاطمة. ولقد تم اختيار نموذج الهيئة الأمريكية لحماية التربة نظراً لدقته في تقدير الطاقة القصوى للتربة للاحتفاظ بالماء التي تعتبر مصدر حساب الفاقد المائي. كما تم استخلاص متوسط التبخر- نتح بتطبيق ثلاثة نماذج هي نموذج ماكينك (Makkink, 1957) ونموذج جنسن-هايس (Jensen-Haise, 1973) ونموذج تورك (Turc, 1961). وتسهم منهجية هذه الدراسة مع غيرها من الدراسات الهيدرولوجية في إبراز فاعلية الاستخدام التكاملية للنماذج المناخية والنماذج الهيدرولوجية في دراسة الجريان السطحي العادي والسيلي لأحواض التصريف بالمملكة العربية السعودية وتقدير تدفق الذروة لجريانها السطحي ونمذجة المخاطر الناجمة عنه.

منطقة الدراسة

يتبع حوض وادي فاطمة محافظة مكة المكرمة ويعد وادي فاطمة أحد أكبر أودية الحجاز ويقع حوض تصريفه في الجزء الغربي من المملكة العربية السعودية ممتداً من أعلى السراة قرب الطائف حتى بلدة بحرة بالقرب من جدة، بين خطي طول 39° و 40° شرقاً وبين دائرتي عرض 21° 15' و 22° 45' شمالاً بمساحة تصريف تصل إلى 4943 كم² (الحري، 1998) (الشكل 1).



الشكل 1: الموقع الجغرافي لحوض وادي فاطمة

ويتشكل المجرى الرئيس لوادي فاطمة من إلتقاء ثلاثة أودية كبيرة هي:

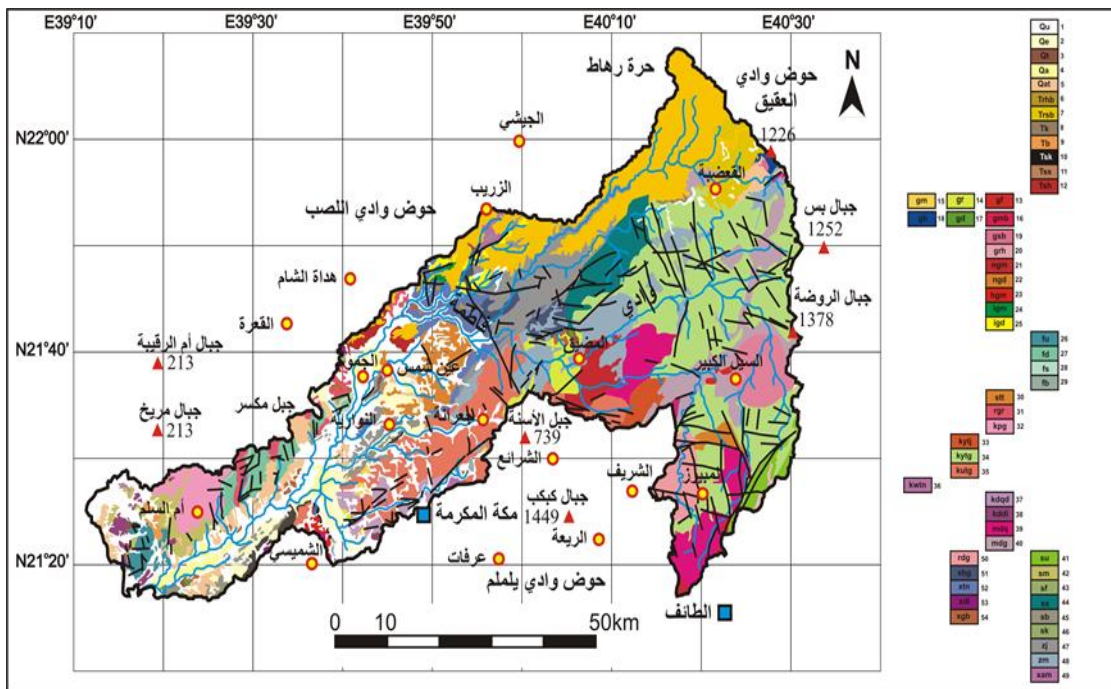
1. وادي الشامية الذي يتشكل من إلتقاء مجرى السيل الكبير الذي ينبع من شمال مدينة الطائف على إرتفاعات تصل إلى 1593م ويجري باتجاه جنوبي- شمالي ووادي كندة ووادي بري اللذين ينبعان من ارتفاعات تتراوح بين 1150م و1250م على التوالي. ويصب في وادي الشامية العديد من الأودية أهمها وادي حراض ووادي السيل الكبير ووادي بري ووادي كندة.

2. وادي اليمانية الذي ينبع من ارتفاعات تصل إلى 1271م عند جبل دمه غربي مجرى وادي السيل الكبير وأهم روافده وادي الكفو ووادي الأشقر.

3. وادي حوره الذي ينبع من ارتفاعات تصل إلى 1379م عند جبل النجدية بحرة رهاط. ويصب في وادي الشامية العديد من الأودية أهمها وادي وعاجل ووادي الضريبة.

ويلتقي وادي الشامية مع وادي اليمانية على ارتفاع يصل إلى 500م قرب بلدة بني عمير ويشكلان مجرى واحداً قبل أن يقتربا بوادي حورة غرباً على ارتفاع يصل 350م. ويتشكل إلتقاء الأودية الثلاثة المجرى الرئيسي لوادي فاطمة شمال مركز الريان. وتصرف أودية الشامية واليمانية وحورة أحواضاً مائية بمساحات تصريف تبلغ على التوالي 1094 كم², 537 كم² و1064 كم² (Italconsult, 1969).

ويتشكل حوضا وادي الشامية ووادي اليمانية بالأساس من الصخور المتبلورة كالجرانيت، الجرانوديورايت، النابيس والشست التي تعتبر جزءاً من صخور الدرع العربي، في حين يتشكل حوض وادي حورة بالأساس من الصخور البازلتية ومن الصخور المتحولة التي تنكشف عند مجراه الأدنى بالقرب من مصب الحوض (الشكل 2). وترتبط منكشفات صخور الدرع العربي بالقرب من المصب بصورة أساسية ببنية الحوض الانكسارية. كما تظهر الصخور الرسوبية بالحوض الوسط لوادي فاطمة وهي تتشكل بالأساس من الحجر الرملي والطفل والحجر السلتي والكونغولوميرايت القارية والدلتاوية التابعة للأيوسين والأوليغوسين (Al-Shanti, 1966).



الشكل(2): خريطة التكوينات الجيولوجية لحوض وادي فاطمة.

المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على الخريطة الجيولوجية، 1:250000، مربع مكة، لوحة 21 D، 1989.

(1)- رسوبات الزمن الرابع

Qu-1: رسوبات متنوعة، 2- Qe: رمال ريحية، 3- Qt: رسوبات المنحدرات، 4- Qa: رسوبات المراوح الفيضية (غير متدرجة)، 5- Qat: رسوبات المراوح الفيضية (متدرجة).

(2)- تكوينات النيوجين الرسوبية

6- Trhb: بازلت حمه (مجموعة رحات)، 7- Trsb: بازلت شواحيط (مجموعة رحات)، 8- Tk: تكوين خليصية.

(3)- تكوينات الميوسين الرسوبية

9- Tb: تكوين بطحان (ميوسين سفلي وأوسط)، 10- Tsk: تكوين خليص (باليوسين إلى بداية الأيوسين)، 11- Tss: تكوين شميسي (باليوسين إلى بداية الأيوسين)، 12- Tsh: تكوين هداة الشام (باليوسين إلى بداية الأيوسين).

(4)- صخور ما قبل الكمبري الاندساسية

13- gf: فلسبار، 14- gr: مونزوجرانيت، 15- gm: ميكاجرانيت، 16- gmb: جرانوديورايت، 17- gd: ميغاتيت، 18- gb: جابرو، 19- gsb: سينوجرانيت (جرانيت بهيته)، 20- grh: مززوجرانيت وسينوجرانيت متكامل (معقد حلقة)، 21- ngm: بيوتايت ومونزوجرانيت (معقد نعمان)، 22- ngd: جرانوديورايت دقيق (معقد نعمان)، 23- gmh: مززوجرانيت (معقد حشفه)، 24- igm: هونبلاد وبيوتايت مونزوجرانيت (معقد حيشه)، 25- igd: جرانوديورايت (معقد حيشه).

(5)- صخور ما قبل الكمبري الرسوبية (مجموعة فاطمه)

26- fu: صخور مجموعة فاطمه، 27- fd: تكوين داف، 28- fs: تكوين شبيريم، 29- fb: تكوين بقر.

(6)- صخور ما قبل الكمبري الاندساسية

30- stt: توناليت صمد، 31- rgr: جرانيت رميضة، 32- kpg: معقد قطانه، 33- kytj: تروندجمائيت (معقد الشامية)، 34- kytg: جرانوديورايت (معقد الشامية)، 35- kutg: هورنبلاد توناليت (معقد جعرانه)، 36- kwtn: هورنبلاد توناليت (معقد شيوان)، 37- kdqd: كوارتز ديورايت (معقد ملح)، 38- kddi: ديورايت (معقد ملح)، 39- mdq: ديورايت وكوارتز ديورايت (معقد ملح)، 40- mdg: ديورايت وجابرو (معقد ملح).

(7)- صخور ما قبل الكمبري الرسوبية (مجموعة سمران)

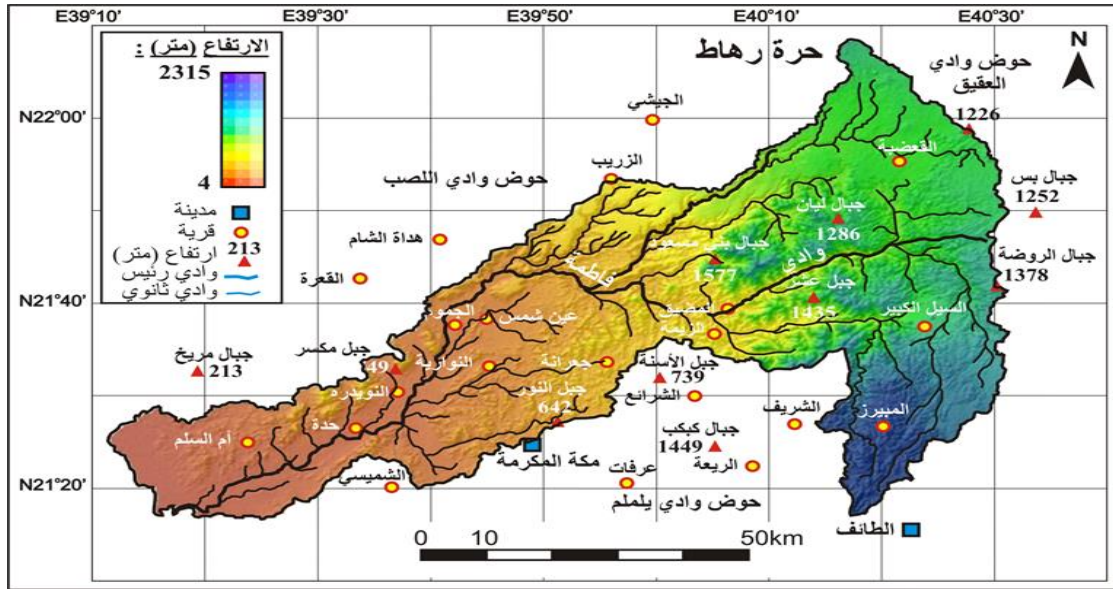
41- su: تكوين محرم، 42- sm: تكوين مدركه، 43- sf: تكوين فائضة، 44- ss: تكوين سليمان، 45- sb: تكوين بحران، 46- sk: تكوين كشب، 47- zj: تكوين جموم، 48- zm: تكوين مادق، 49- xam: أمفيولايت وصخور متنوعة.

(8)- صخور ما قبل الكمبري الاندساسية

50- rdg: جابرو وديورايت (معقد شرقه)، 51- xbg: بيوتايت جرانيت، 52- xtn: توناليت وكوارتز ديورايت، 53- xdi: ديورايت وكوارتز ديورايت، 54- xgb: ميتاجابرو وجابرو.

وتتمتد صخور تكوين وادي فاطمة الرسوبية التي تغطي بعد ما توافق صخور الدرع العربي بين جبل مكسر ومركز أم السلم على الضفة الشمالية للمجرى الأدنى لوادي فاطمة. ولقد ساهمت الصدوع والانكسارات في تشكيل المجرى الرئيسي لوادي فاطمة، بحيث يمتد مجرى وادي الشامية على طول انكسار شمالي شرقي - جنوبي غربي بطول حوالي 20 كم، كما يمتد المجرى الأدنى لوادي فاطمة بمحاذاة مجموعة من الانكسارات التي أصابت صخور تكوين فاطمة الرسوبية. ولقد أدت أيضاً الانكسارات الشمالية الغربية - الجنوبية الشرقية إلى تشكيل مجاري العديد من الأودية الرافدة للمجرى الأدنى وكذلك بروز الظهور Horsts التي شكلت جبل مكسر (749م) وغيره من الجبال الأخرى (Moore and Al-Rehaili, 1989). وتمتد الرسوبات الرباعية بشكل كبير بعد إتساع مجرى الروادي الرئيسي بعد خروجه من المنطقة الجبلية من شرق الجموم وعين شمس حتى مصب الحوض بالقرب من أم سلم.

ويرتبط الوضع التضاريسي لحوض وادي فاطمة بالخصائص الصخرية وبالبنية الجيولوجية، بحيث تتمثل أهم أشكال التضاريس في منطقتين، منطقة جبلية وأخرى سهلية (الشكل 3).



الشكل(3): نموذج لارتفاع الرقمي ASTER Dem 30m لحوض وادي فاطمة

(أ)- المنطقة الجبلية

وهي تتشكل من المرتفعات التي نشأت وتطورت بصخور الدرع العربي بشرق حوض وادي فاطمة وشكلت الحوض الأعلى وخط تقسيم المياه بين حوض وادي فاطمة من جهة وحوض وادي نعمان جنوباً وحوض وادي اللصب شمالاً وحوض وادي العقيق شرقاً من جهة أخرى. ومن أهم جبال هذه المنطقة جبال لبيان (1286م) وجبال بني مسعود (1566م) وجبل بام (1118م) وجبل عشر (1435م) وجبل مسوليا (1226م) وجبل دمة (1271م) وضلع الجرة (1575م) وجبل كنشيل (1754م) وغيرها.

(ب)- المنطقة السهلية

وهي الممتدة من حرة العجيفة (483م) شرقاً حتى مصب الحوض غرباً (4م). وتتشكل هذه المنطقة من رسوبيات الزمن الرابع التي جمعتها مياه الجريان السطحي والرياح ببطون الأودية على ارتفاعات تتراوح بين 400م شرقاً و50م غرباً عند أبار أبو جعالة غرباً. وتظهر التضاريس السهلية على شكل سهل يتراوح عرضه بين 2 و10 كم ويمتد بطول حوالي 70 كم ويتكون من الرواسب الرملية والحصى والطينية غير المتماسكة ويزيد سمكها عن 40م (البارودي، 1986).

(ج)- المنحدرات والسفوح

تتجه الانحدارات من الشرق إلى الغرب مُشكلةً سفوح تضيق تدريجياً من منطقة المنابع باتجاه المصب. وتمتد السفوح والمنحدرات على سطح تتراوح نسبة انحداره بين 4.6% و32.7% وبمتوسط ارتفاع يتراوح بين 60م و1396م. وتتشكل السفوح عند منطقة المنابع من الصخور النارية، البركانية والمتحولة بينما تتشكل سفوح الحوض الأدنى من الصخور الرسوبية ورسوبيات الزمن الرابع التي تعرضت لعمليات التعرية المائية على امتداد مجاري الأودية حتى مصب وادي فاطمة. وتساهم هذه السفوح في سرعة الجريان السطحي التي تتناقص تدريجياً من منطقة المنابع باتجاه المصب مع انخفاض انحدار سطح الأرض.

ويقع حوض وادي فاطمة ضمن الاقليم المناخي المداري الجاف، وهو يتأثر بنوعين من المنخفضات الجوفية، منخفض البحر المتوسط خلال فصل الشتاء ومنخفض السودان خلال فصل الصيف. ويرتبط التوزيع المكاني للأمطار بالوضع التضاريسي للحوض، بحيث يتراوح المتوسط السنوي للأمطار بين 6.2 ملم بمحطة مكة على ارتفاع 280م و144.9 ملم بمحطة الطائف على ارتفاع 1567م. وعليه نجد أن معدل تغير الأمطار مع الارتفاع يبلغ 10.8 ملم/100م خلال الفترة 1976-2011. كما

يرتبط متوسط الأمطار السنوي بعدد الأيام الممطرة، والذي بلغ خلال الفترة المذكورة 92 يوم/سنة بمحطة بحرة الجديدة (116م) و115 يوم/سنة بمحطة مكة (280م) و325 يوم/سنة بمحطة البرزة (350م) و346 يوم/سنة بمحطة مدركة (710م) و470 يوم/سنة بمحطة وادي محرم (1237م) و1220 يوم/سنة بمحطة الطائف (1567م). وعليه فإن متوسط عدد الأيام الممطرة يتراوح بين 3 يوم/سنة بمحطتي مكة وبحرة الجديدة و34 يوم/سنة بمحطة الطائف.

وتتراوح درجات الحرارة الشهرية بين 15.4 م° خلال شهر يناير و29.0 م° خلال شهر يونيو بمحطة الطائف بالحوض الأعلى وبين 24.2 م° خلال شهر يناير و36.1 م° خلال شهري يونيو ويوليو بمحطة مكة بالحوض الأدنى لوادي فاطمة، أي بفارق مدى حراري يتراوح بين 8.8 م° خلال شهر يناير و7.1 م° خلال شهر يونيو. ومن جهة أخرى تتراوح المتوسطات الشهري للرطوبة النسبية بين 32.5% خلال شهر يونيو و58.8% خلال شهر ديسمبر بمحطة مكة وبين 24.1% خلال شهر يونيو و60.6% خلال شهر ديسمبر بمحطة الطائف. ويتعرض الحوض الأدنى لوادي فاطمة لهبوب الرياح الشمالية بمتوسط سرعة يتراوح بين 4.1 كم/ساعة خلال شهر نوفمبر و5.9 كم/ساعة خلال شهر مارس وبسرعة قصوى تتراوح بين 16.7 كم/ساعة خلال شهر ديسمبر و20.9 كم/ساعة خلال شهر أبريل بمحطة مكة. وتهب خلال شهر أكتوبر الرياح الجنوبية على مكة بمتوسط سرعة يبلغ 4.3 كم/ساعة وبسرعة قصوى تصل إلى 18.9 كم/ساعة. كما يتعرض الحوض الأعلى لوادي فاطمة إلى هبوب الرياح الغربية بمتوسط سرعة يتراوح بين 10.2 كم/ساعة خلال شهر نوفمبر و19.6 كم/ساعة خلال شهر يوليو وبسرعة قصوى تتراوح بين 28.3 كم/ساعة خلال شهر نوفمبر و39.4 كم/ساعة خلال شهر يوليو بمحطة مكة. وتهب خلال شهر أكتوبر الرياح الشرقية على الطائف بمتوسط سرعة يبلغ 10.2 كم/ساعة وبسرعة قصوى تصل إلى 29.4 كم/ساعة.

الدراسات السابقة

يعتمد هذا البحث على العديد من الدراسات المحلية التي تناولت تقدير الموارد المائية والميزانية المائية بأحواض التصريف بالمملكة العربية السعودية، نستعرضها حسب تسلسلها التاريخي. فقد تم تقدير حجم الجريان السطحي بما يعادل 13.2 مليون م³/سنة بحوض وادي فاطمة (Sadhan, 1980). وقد اعتمد (Barudi, 1986) في بحثه عن الميزانية المائية لحوض وادي فاطمة على نتائج دراسة Sadhan بتطبيق طريقة Langbein التي تعتمد على العلاقة بين عنصرَي التساقط والحرارة في حساب الجريان السطحي. كما اعتمدت دراسة البارودي أيضاً على نتائج دراسات شركة إيطالكونسولت Italconsult للإستشارات الهندسية في تقدير معدل التساقط الذي بلغ 156 ملم/سنة ينتج عنه حجم تساقط يصل إلى 667.6 مليون م³/سنة وجريان سطحي لا يمثل سوى 2% من كمية الأمطار بالمنطقة الشرقية من الحوض و5 إلى 6% من الأمطار بالمنطقة الغربية منه، أي ما يعادل حوالي 13.4 مليون م³/سنة و40.0 مليون م³/سنة بالمنطقتين على التوالي.

كما نشر (Al-Madheim, 2001) دراسة عن الميزانية المائية لحوض وادي حنيفة اعتمدت على خريطة خطوط التساوي لمتوسط أمطار الفترة 1988-1994 في تقدير حجم التساقط الذي بلغ 405.7 م³/كم² بمعدل سنوي للأمطار قدره 88.3 ملم على مساحة التصريف لحوض وادي حنيفة (4590 كم²). كما تم تقدير المتوسط الشهري للتبخر- نتح بواسطة نموذج Jensen-Haise بحوالي 209.9 ملم في حين تم تقدير متوسط حجم الجريان السطحي بحوالي 5% من متوسط حجم التساقط السنوي، أي ما يعادل 20.3 مليون م³ سنوياً. وفي عام 2010، قدمت الوكالة اليابانية الدولية للاستشارات الهندسية تقريراً عن حساب الميزانية بالاعتماد على قياسات الأمطار بمجموع 85 موقع بغربي المملكة العربية السعودية. وقد أظهرت نتائج هذه الدراسة أن متوسط الأمطار اليومية السنوي للفترة 1975-2004 (30 سنة) يتراوح بين 15 و425 ملم/سنة، في حين يتراوح المتوسط السنوي للتبخر - نتح الفعلي بين 10 و610 ملم/سنة. كما توصلت هذه الدراسة إلى تقدير الميزانية المائية لمجموع 31 حوض مائي تمتد من الحدود اليمنية إلى جنوبي منطقة المدينة المنورة، منها 21 حوض بساحل البحر الأحمر و10 أحواض بنجد. وقد أظهرت نتائج هذه الدراسة أن إجمالي حجم التبخر- نتح الفعلي بلغ 1614 مليون م³/سنة وأن حجم الجريان السطحي بلغ 870 مليون م³/سنة لمجموع 31 حوض مائي شملته هذه الدراسة.

وهناك العديد من الدراسات التي اعتمدت على تطبيق النماذج الهيدرولوجية في تقدير الجريان السطحي بأحواض التصريف أهمها دراسة (Quraishi & Al-Hassoun, 1996) التي اعتمدت على تطبيق نموذج تالبوت Talbot في تقدير

تدفق الذروة بأحواض التصريف بالمملكة العربية السعودية. كما اعتمدت دراسة (Dawod et al., 2011) عن أودية منطقة مكة المكرمة ودراسة كل من (Alagha et al., 2016) عن حوض وادي بيا ودراسة (Al-Zahrani et al., 2016) عن حوض وادي الباطن ودراسة (Mahmoud, 2019) عن أودية منطقة الرياض على تطبيق نموذج الهيئة الأمريكية لحماية التربة NRCS-CN في تقدير الجريان السطحي بالأحواض المائية المدروسة.

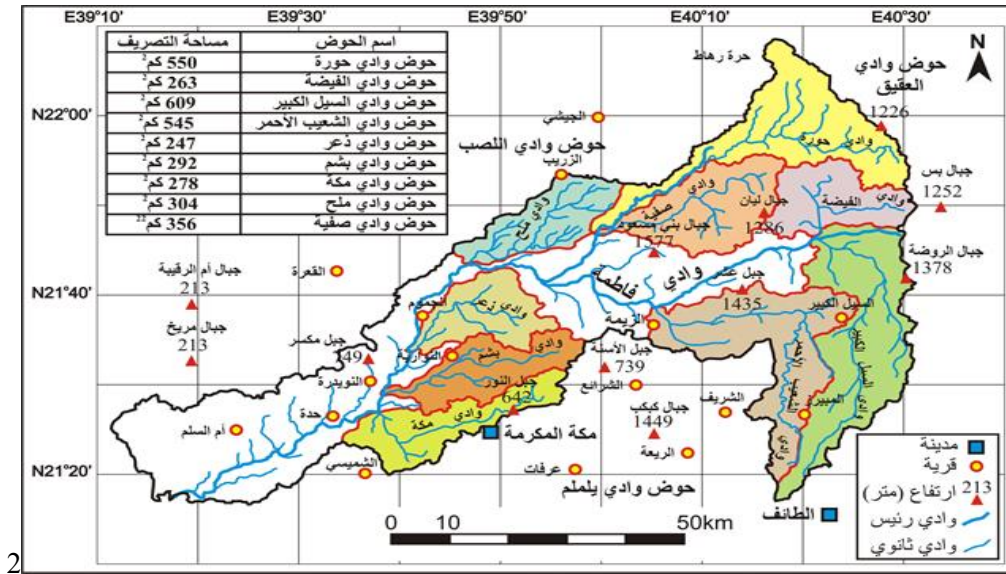
بالإضافة إلى الدراسات المذكورة، هناك بعض الدراسات التي اهتمت بتطبيق طرق مختلفة لتقدير الموارد المائية بالمملكة، منها دراسة (Al-Harbi, 1998) عن مصادر المياه بمنطقة وادي الليث والدراسة التي قام بها كذلك (Keshk et al., 2016) لتقييم نوعية المياه في أجزاء من وادي فاطمة بغربي المملكة العربية السعودية. وكشفت نتائج هذه الدراسة عن وجود مياه ملوثة وأخرى تفوق نسبة ملوحتها المعايير الصحية العالمية بأجزاء مختلفة من الوادي. كما أنجز (Alhassan et al., 2016) دراسة تناولت حالة السيناريو القائم على إمدادات المياه الإقليمية والطلب في المملكة العربية السعودية. وهي دراسة اعتمدت على وصف ثلاثة نماذج للعرض والطلب على المياه بسيناريو للاستخدامات الزراعية وآخر للاستخدامات السكانية وثالث لحالة اختلال العرض. وقد توصلت هذه الدراسة إلى أن الحاجة لاستخراج المياه الجوفية لغرض الاستخدامات الزراعية تتراوح بين 290 و1030 مليار م³، في حين أن عرض سنة 1996 من المياه الجوفية لم يتعد 289 مليار م³. وقد أشارت هذه الدراسة إلى ضرورة اتخاذ الإجراءات الملائمة لتحديد المحاصيل الزراعية المناسبة للميزانية المائية في المملكة العربية السعودية. وهناك دراسة أخرى أنجزها (Sen et al., 2017) تم فيها تحديد مؤشر الجفاف وتقدير المعدلات الشهرية المحتملة لهطول الأمطار ولتسرب مياه الأمطار داخل التربة بحوض وادي فاطمة باستخدام مجموعة من نسب الخطأ المحتملة. ومن الدراسات المحلية التي اهتمت بتقدير الجريان السطحي للسيول وتأثيراته البيئية دراسة (Bourouba, 2007) التي اعتمدت على توظيف الخصائص المورفومترية للحوض وادي عتود في تقدير التدفق السيلي ودراسة (Al Saud, 2010) التي توصلت إلى تصميم خريطة مخاطر الفيضانات والسيول في مدينة جدة بالاعتماد على بيانات سيول عامي 2004 و2005.

بالإضافة إلى ذلك توجد بعض الدراسات التي اهتمت ببعض المجالات الأخرى كدراسة (Al-Sefry & Sen, 2006) التي تطرقت إلى تقييم أخطاء إدارة المياه الجوفية في المناطق الجافة بالتطبيق على مدينة جدة. وتوصلت هذه الدراسة إلى اقتراح دالة التوزيع الاحتمالي لتقييم عدم اليقين في تقدير التشبع والتخزين وسماكة التكوينات الحاملة للمياه الجوفية المحتملة بوادي فاطمة عند مستويات الخطأ المختلفة. وأظهرت هذه الدراسة أن العلاقة بين القيم اللوغاريتمية لمعاملات طبقة المياه الجوفية والاحتمالية تكون خطية ويمكن الاستفادة منها في تقدير أوجه عدم اليقين في برنامج فعال لإدارة موارد المياه الجوفية. ومما تقدم يتضح أن هذه الدراسة تتميز عن الدراسات السابقة من حيث أنها على تطبيق نموذج NRCS-CN الأكثر استخداماً في تقدير الجريان السطحي بأحواض التصريف بمختلف المناطق المناخية بالعالم، لدقتها في حساب عناصر الميزانية المناسبة لكميات الأمطار اليومية. كما أن تطبيق هذا النموذج على مستوى أحواض التصريف الفرعية لوادي فاطمة أظهر بشكل أفضل التباين المكاني للجريان السطحي بما يسمح لتعرف على أكثر الأودية قدرة في تحويل مياه الأمطار إلى مياه جريان سطحي. وعليه فإن تطبيق هذا النموذج على مستوى الأحواض الفرعية يسمح كذلك بتصنيف خطورة الجريان السيلي بكل حوض منها عند هطول الأمطار.

منهجية الدراسة

تتلخص الخطوات المنهجية العملية لتقدير عناصر الميزانية المائية لحوض وادي فاطمة بتطبيق نموذج NRCS-CN فيما يلي:

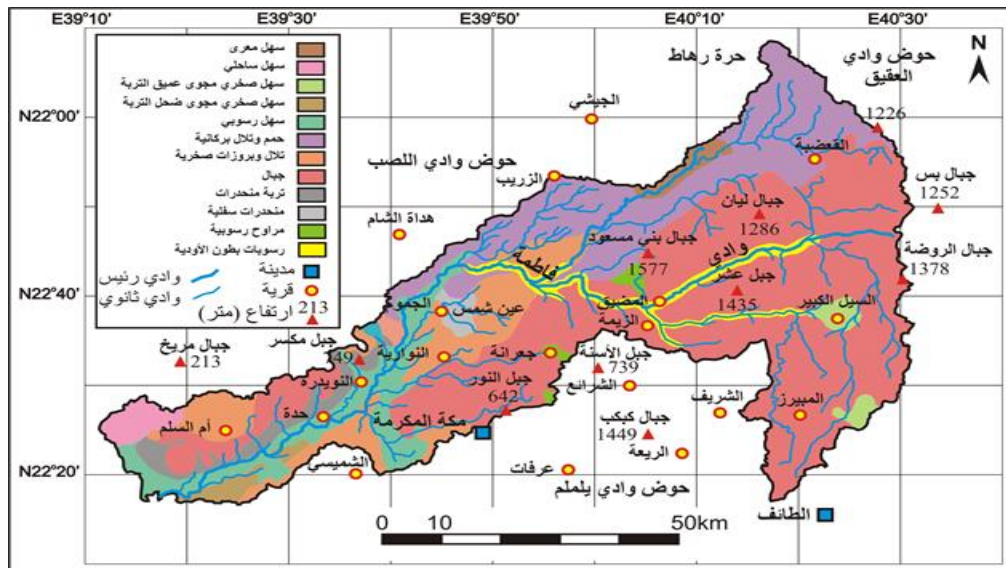
1- استخدام أدوات الإضافة ArcHydro 10.0 من بيئة ArcGIS 10.0 ESRI في معالجة نماذج الارتفاعات الرقمية بهدف القيام بالنمذجة الهيدرولوجية، وتحديد حدود أحواض التصريف المائية واشتقاق شبكة مجاري الأودية وتحديد مخارج حدود أحواض التصريف المائية وشبكة مجاري الأودية (الشكل 4).



الشكل (4): الأحواض الفرعية لوادي فاطمة

المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي ASTER Dem 30m

2- لحساب رقم منحنى التربة لأحواض الروافد المدروسة تم تحديد أنواع التربة لأحواض الروافد المدروسة بالاعتماد على اللوحة 59 من خريطة موارد الأراضي (Ministry of Agriculture and Water, 1994) (الشكل 5). وقد تم حساب رقم منحنى التربة الموزون باستخدام أدوات التحليل المكاني Spatial Analyst من برنامج (ArcGIS 10.0 ESRI) (الجدول 1).



الشكل (5): التوزيع المكاني لأنواع التربة بحوض وادي فاطمة.

المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على خريطة موارد الأراضي، 1:500,000، وزارة الزراعة، 1994.

الجدول(1): تحديد منحنيات التربة لأحواض الروافد المدروسة

نوع التربة	وادي حورة	وادي صقية	وادي الفيضة	وادي السيل الكبير	وادي ملح	وادي الشعيب الأحمر	وادي زعر	وادي بشم	وادي مكة
حمم وتلال بركانية	93	93	93	93	93	93	93	93	93
	82.0	35.0	4.0	96.0	96.0	96.0	9.5	9.5	9.5
جبال	91	91	91	91	91	91	91	91	91
	15.0	65.0	96.0	97.0	97.0	97.0	12.0	87.0	37.0
سهل صخري مجوى عميق التربة				63	63	63			
				3.0	3.0	3.0			
سهل صخري مجوى ضحل التربة	85								
	3.0								
تلال وبروزات صخرية				91	91	91			
				4.0	4.0	4.0			
تربة منحدرات سفلية							72		
							14.0		
سهل رسوبي							55	55	55
							7.5	2.5	32.0
مراوح رسوبية							55	55	55
							2.0	2.5	2.0

ويتم استخراج رقم منحنى التربة Curve Number من جداول خاصة حسب نوعية التربة. وفي هذا الصدد اختبرت الهيئة الأمريكية لحماية التربة 8500 نوع من التربة بمختلف مناطق العالم وصنفتها في أربع مجموعات هيدرولوجية هي: (USDA-SCS, 1985) و (USDA-TR55, 1986).

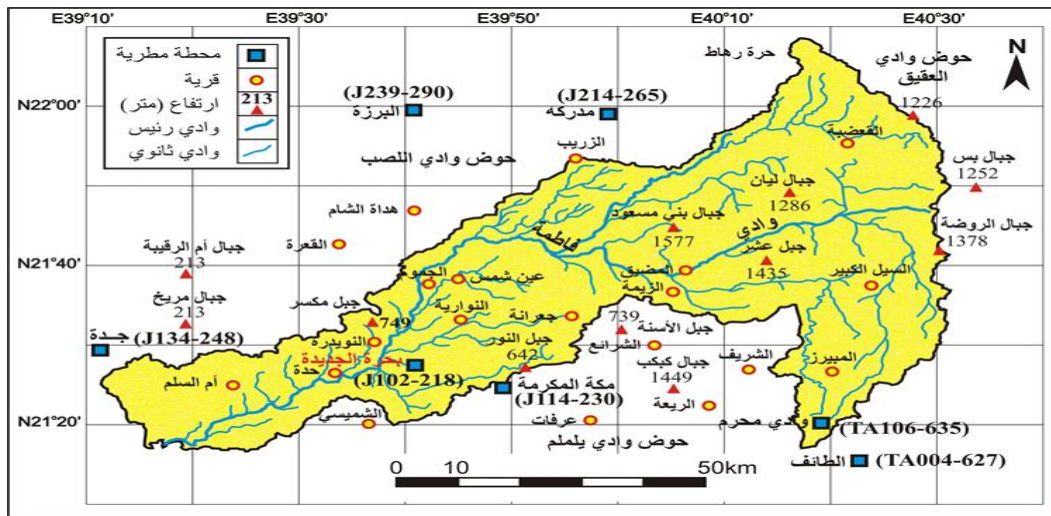
- المجموعة A وهي مجموعة التربة الرملية Sand والتربة اللومية الرملية Loamy sand والتربة الرملية اللومية Sandy loam.
- المجموعة الثانية B وهي مجموعة التربة السلتية اللومية Silty loam والتربة اللومية Loam.
- المجموعة الثالثة C وهي مجموعة التربة الرملية الصلصالية اللومية Sandy clay loam.
- المجموعة الرابعة D وهي مجموعة التربة الصلصالية Clay بالإضافة إلى التربة الصلصالية اللومية Clay loam والتربة السلتية الصلصالية اللومية Silt clay loam والتربة الرملية الصلصالية Sandy clay والتربة السلتية الصلصالية Silty clay.

كما يرتبط تحديد رقم CN على الحالة المسبقة لرطوبة التربة (AMS) Antecedent Moisture of Soil، ويتم تحديدها من الجدول الخاص الذي اقترحه أيضاً الهيئة الأمريكية لحماية التربة وهو جدول يتضمن 3 مجموعات من التربة هي:

- المجموعة الأولى: (AMS I) وهي تخص التربة الجافة.
 - المجموعة الثانية: (AMS II) وهي تخص التربة العادية.
 - المجموعة الأولى: (AMS III) وهي تخص التربة المشبعة بالماء أو الرطوبة إثر تساقط الأمطار الخفيفة إلى الغزيرة مع تدني درجة الحرارة خلال خمسة أيام التي تسبق حساب كمية الجريان السطحي (McCuen, 1982).
- 3- جمع البيانات المطرية من خمس محطات مطرية وفحصها لاستخراج المتوسطات الأمطار اليومية القصوى (الجدول 2 والجدول 3 والشكل 6).

الجدول (2): احداثيات مواقع المحطات المطرية المدروسة.

اسم المحطة	رقم المحطة	خط الطول E	دائرة العرض N	الارتفاع (متر)	كود المحطة
مكة المكرمة	230	39°49'	21°26'	280	J 114
بحرة الجديدة	218	39°42'	21°26'	116	J 102
الطائف (القديرة)	627	40°27'	21°24'	1567	TA 004
وادي محرم	635	40°19'	21°20'	1237	TA 106
مدركة	265	39°59'	21°59'	710	J 214



الشكل (6): مواقع المحطات المطرية لحوض وادي فاطمة.

الجدول (3): كميات الأمطار اليومية القصوى للفترة 1976-2011 بالمحطات المطرية المدروسة.

السنة	مدركة بحرة	الطائف وادي محرم	مكة	السنة	مدركة بحرة	الطائف وادي محرم	مكة
1976	35.8	0.8	23.4	1994	41.0	7.0	18.0
1977	10.4	41.5	37.6	1995	41.0	16.0	22.8
1978	69.4	58.5	24.6	1996	40.6	38.5	30.4
1979	33.4	110.5	39.4	1997	80.0	61.0	37.2
1980	26.0	10.0	49.8	1998	51.0	83.0	56.8
1981	35.0	13.0	45.9	1999	30.4	8.0	24.6
1982	30.4	0.9	31.4	2000	22.8	52.0	18.0
1983	28.4	3.5	19.4	2001	16.5	31.0	39.8
1984	17.0	11.0	19.8	2002	45.0	50.0	97.7
1985	6.6	24.5	37.6	2003	6.8	28.0	24.2
1986	19.6	7.8	36.6	2004	12.6	0.0	0.3
1987	13.0	20.5	27.6	2005	22.0	40.0	31.6
1988	34.2	35.7	23.8	2006	2.4	2.0	13.5
1989	16.4	21.4	23.4	2007	27.0	30.5	21.2
1990	16.6	8.0	41.0	2008	39.6	30.0	28.2
1991	10.0	31.0	42.2	2009	14.6	7.0	6.6
1992	83.6	52.5	45.8	2010	18.2	30.0	17.0
1993	18.8	30.0	23.4	2011	42.5	35.0	23.0

4- حساب عناصر الميزانية المائية

يعتمد حساب الميزانية المائية للحوض المائي على حساب ما يلي:

1- الطاقة القصوى للاحتفاظ بالمياه داخل التربة (ملم) Potential Maximum retention S

يتم حساب أقصى طاقة للاحتفاظ بالمياه داخل التربة (ملم) S بتطبيق المعادلة التالية :

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

وفيه يمثل CN رقم منحني التربة Curve Number ويتم استخراجه من جداول خاصة حسب نوعية التربة.

2- حساب معامل الاستخلاص الأولي (ملم) Initial abstraction I_a

يمثل معامل الاستخلاص الأولي (I_a) كمية الفاقد مياه الأمطار التي تتحول إلى تبخر وتسرب

وتخزين داخل التربة وهي تحسب بتطبيق المعادلة التالية:

$$I_a = 0.2 S$$

وفيه S يمثل أقصى طاقة للاحتفاظ بالمياه داخل التربة.

وعليه فإن I_a تمثل كمية الأمطار التي تسقط خلال يوم واحد ولا ينتج عنها جريان سطحي بحيث تماثل P ≤ I_a.

3- حساب عمق الجريان السطحي (ملم) Q_a

يتم حساب عمق الجريان السطحي Q_a بتطبيق المعادلة التالية:

$$Q_a = \left(\frac{P - I_a}{P + (0.8 S)} \right)^2$$

وفيه S يمثل أقصى طاقة للاحتفاظ بالمياه داخل التربة (ملم) و I_a كمية الفاقد من الأمطار (ملم) و P كمية الأمطار (ملم).

4- حساب الفاقد بواسطة التبخر- نتح

لتقدير الفاقد من مياه الأمطار بواسطة عملية التبخر - نتح بشكل يسمح بالحصول على متوسط أكثر موضوعية في

تمثيل كمية التبخر-نتح، تم تطبيق 3 نماذج هي نموذج ماكينك (Makkink, 1957) ونموذج تورك (Turc, 1961) ونموذج

جنسن-هايس (Jensen-Haise, 1963).

(i) - نموذج ماكينك (Makkink, 1957)

يتم حساب التبخر- نتح بنموذج ماكينك بتطبيق المعادلة التالية :

$$ET \text{ (mm.day}^{-1}\text{)} = 0.61 \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma \lambda} \right] \left[\frac{R_s}{\lambda} \right] - 0.12$$

وفيه ET (mm.day⁻¹) التبخر- نتح الكامن اليومي (mm) و R_s إجمالي الاشعاع الشمسي و (MJm⁻²day⁻¹) و Δ انحدار

منحني ضغط بخار الماء وهو يساوي:

$$\Delta = \left[\frac{2504 \exp \left[\frac{17.27 T_a}{T_a + 237.3} \right]}{(T_a + 237.3)^2} \right]$$

وفيه:

Δ: انحدار منحني ضغط بخار الماء (kPa/°C) و T_a درجة الحرارة اليومية (°C) و γ الثابت البسيكومري (kPa/°C) وهو

يساوي:

$$\gamma = 0.00163 \left[\frac{P}{\lambda} \right]$$

بحيث يمثل P الضغط الجوي اليومي (kPa) و λ الحرارة الكامنة للتبخير وهي تساوي:

$$\lambda \text{ (MJ/kg)} = 2.501 - (2.361 * 10^{-3}) T_a$$

(ب) - نموذج تورك (Turc, 1961)

يتم حساب التبخر بنموذج تورك بتطبيق المعادلة التالية: (Diouf et al., 2016 : 117)

$$ET_o \left(\frac{\text{mm}}{\text{day}} \right) = a * C * (R_g + b) * \left[\frac{T}{T + 15} \right]$$

وفيه ET_o متوسط التبخر اليومي (ملم) و T متوسط درجة الحرارة اليومية ($^{\circ}C$) و R_g إجمالي الاشعاع الشمسي ($MJ.m^{-2}.day^{-1}$) و a ثابت قدره ($0.31 m^2.MJ^{-1}.mm^{-1}$) و b ثابت قدره ($2.094 MJ.m^{-2}.day^{-1}$) و C معامل حراري يساوي : بالنسبة لشهور السنة التي تتسم برطوبة نسبية تقل أو تساوي 50% .

$$C = 1 + \left[\frac{50 - RH}{70} \right]$$

بالنسبة لشهور السنة التي تتسم برطوبة نسبية تقل عن 50% ($RH < 50\%$) و $C = 1$ و بالنسبة لشهور السنة التي تتسم برطوبة نسبية تساوي أو تفوق 50% ($RH \geq 50\%$).

(ج) - نموذج جنسن-هايس (Jensen-Haise, 1963).

يستخدم هذا النموذج لتقدير التبخر اليومي للتبخر بتطبيق المعادلة التالية:

$$E_{tp} (\text{Langley/day}) = C_t (T' + T_x) R_s$$

وفيه يمثل E_{tp} كمية التبخر اليومي (لانجلي/يوم) و R_s إجمالي الاشعاع الشمسي (لانجلي/يوم) و C_t معامل يتم حسابه بتطبيق المعادلة التالية:

$$C_t = 1 / C_1 + C_2 + CH$$

وفيه $C_1 = 38 - (2EL) / (305)$ ، بحيث يمثل EL ارتفاع المحطة (متر)، و $C_2 = -10.6 C^{\circ}$ و

$CH = (50 \text{ mb}) / (e_2 - e_1)$ ، بحيث يمثل e_1 ضغط بخار الماء المشبع (mb) عند درجة الحرارة الدنيا (C°) وهو يحسب بواسطة المعادلة التالية: (Musy, 2004)

$$e_1 (\text{kPa}) = 0.6108 \exp \left[\frac{17.67 T_{\text{mean}}(C^{\circ})}{T_{\text{mean}}(C^{\circ}) + 237.3} \right]$$

و e_2 ضغط بخار الماء الفعلي (mb) عند درجة الحرارة القصوى (C°) وهو يساوي: $e_2(\text{mb}) = e_1(\text{mb}) \left[\frac{R_h}{100} \right]$ وفيه R_h متوسط الرطوبة النسبية الشهري.

e_2 ضغط بخار الماء الفعلي عند درجة الحرارة القصوى (C°).

$$T_x = -2.5 - (0.14 (e_2 - e_1)) \text{ و}$$

ويتم تحويل التبخر اليومي المحسوب بوحدة (لانجلي/يوم) إلى تبخر يومي (ملم/يوم) بتطبيق المعادلة التالية:

$$E_{tp} (\text{mm/day}) = E_{tp} (\text{Langley/day}) \cdot (1/y)$$

وفيه $y = 595.9 - (0.55 T')$ ، بحيث يمثل T' المتوسط الشهري لدرجة الحرارة (C°).

5- حساب الفاقد بواسطة التسرب

يمكننا الاستفادة من العلاقة بين كمية الأمطار وكمية التبخر- نتح المترتبة عنها في حساب الفاقد المائي بواسطة التسرب

Percolation بواسطة المعادلة التالية:

$$E = P - Q_s - \Delta M \text{ (Sokolov \& Chapman, 1974: 47)}$$

وفيه يمثل E كمية التبخر-نتح و P كمية الأمطار (ملم) و Q_s كمية الجريان السطحي (ملم) و ΔM تغير المحتوى الرطوبي للتربة.

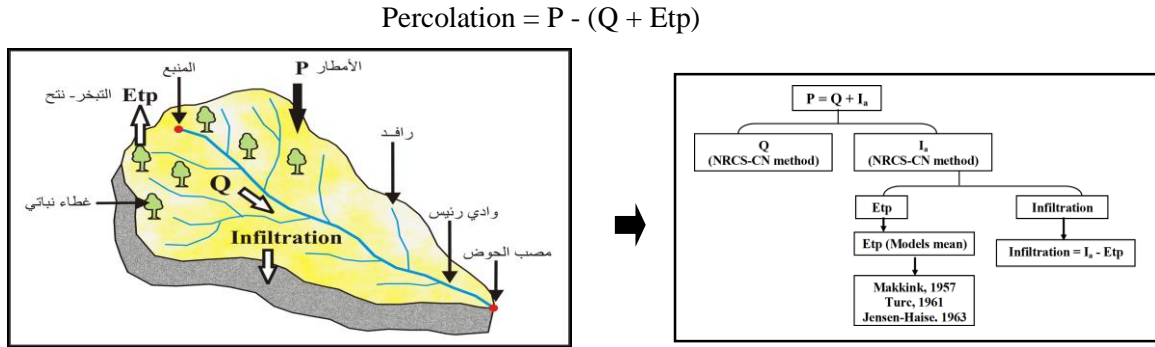
ونظراً لكون تربة حوض وادي فاطمة تربة جافة فإن كمية ΔM تؤول إلى 0. وعليه نجد أن:

$$P = E + Q_s + 0$$

وباستخدام هذه العلاقة في نموذج NRCS-CN ، نجد أن :

$$P = Q + I_a$$

$$P = Q + (E_{tp} + \text{Percolation})$$



الشكل (7): شكل توضيحي لعناصر الميزانية المائية لحوض التصريف
المصدر: عمل الباحث.

التحليل والمناقشة

تتلخص نتائج هذه الدراسة فيما يلي:

1- التباينات المكانية والزمنية لعناصر الميزانية المائية

بعد تحديد رقم لأحواض الروافد تم حساب رقم منحني التربة الموزون لكل حوض من أحواض الروافد المدروسة كما تم حساب الطاقة القصوى لاحتفاظ التربة بالماء وحساب معامل الاستخلاص الأولي (الجدول 4).

ويتضح من بيانات الجدول 4 أن كميات الأمطار اليومية التي لها القدرة على توليد جريان سطحي تتراوح بين 3.9 ملم/يوم بحوض وادي ملح و13.7 ملم/يوم بحوض وادي مكة. ولقد تم تحديد كمية الأمطار اليومية المولدة للجريان السطحي بكل حوض رافد من بيانات الأمطار اليومية القصوى للفترة 1976-2011 بالمحطات المطرية التي تقع داخل مساحة التصريف أو أقرب المحطات المطرية منها، بحيث تتوزع هذه المحطات على النحو التالي:

- 1- محطة مدركة لحساب أمطار أحواض أودية حورة وملح وصفية.
- 2- محطة بحرة الجديدة ومدركة لحساب أمطار حوضي وادي زعر ووادي بشم.
- 3- محطة مكة وبحرة الجديدة لحساب أمطار حوض وادي مكة.
- 4- محطة وادي محرم والطائف لحساب أمطار حوض وادي السيل الكبير.
- 5- محطة وادي محرم لحساب أمطار حوضي وادي الفيضة ووادي الشعيب الأحمر.

الجدول (4): تحديد رقم منحني التربة الموزون لأحواض الروافد المدروسة

Ia	S	CNw	حوض الرافد
13.7	68.5	78.8	وادي مكة
6.2	30.8	89.2	وادي بشم
8.4	41.9	85.8	وادي زعر
5.5	27.7	90.2	وادي الشعيب الأحمر
3.9	19.4	92.9	وادي ملح
5.5	27.7	90.2	وادي السيل الكبير
5.0	24.9	91.1	وادي الفيضة
4.6	23.0	91.7	وادي صقية
4.1	20.7	92.5	وادي حورة

وعليه نجد أن الأمطار اليومية القصوى تتوزع على النحو التالي بأحواض الروافد المدروسة: (الجدول 5)

الجدول(5): كميات الأمطار اليومية القصوى للفترة 1976-2011 بأحواض الروافد المدروسة

السنة	حوض وادي حورة	حوض وادي ملح	حوض وادي صقبة	حوض وادي نعر	حوض وادي بشم	السنة	حوض وادي حورة	حوض وادي ملح	حوض وادي صقبة	حوض وادي نعر	حوض وادي بشم
1976	35.8	35.8	35.8	18.3	18.3	1994	18.3	18.3	35.8	35.8	35.8
1977	10.4	10.4	10.4	26.0	26.0	1995	26.0	26.0	10.4	10.4	10.4
1978	69.4	69.4	69.4	64.0	64.0	1996	64.0	64.0	69.4	69.4	69.4
1979	33.4	33.4	33.4	72.0	72.0	1997	72.0	72.0	33.4	33.4	33.4
1980	26.0	26.0	26.0	18.0	18.0	1998	18.0	18.0	26.0	26.0	26.0
1981	35.0	35.0	35.0	24.0	24.0	1999	24.0	24.0	35.0	35.0	35.0
1982	30.4	30.4	30.4	15.7	15.7	2000	15.7	15.7	30.4	30.4	30.4
1983	28.4	28.4	28.4	16.0	16.0	2001	16.0	16.0	28.4	28.4	28.4
1984	17.0	17.0	17.0	14.0	14.0	2002	14.0	14.0	17.0	17.0	17.0
1985	6.6	6.6	6.6	15.6	15.6	2003	15.6	15.6	6.6	6.6	6.6
1986	19.6	19.6	19.6	13.7	13.7	2004	13.7	13.7	19.6	19.6	19.6
1987	13.0	13.0	13.0	16.8	16.8	2005	16.8	16.8	13.0	13.0	13.0
1988	34.2	34.2	34.2	35.0	35.0	2006	35.0	35.0	34.2	34.2	34.2
1989	16.4	16.4	16.4	18.9	18.9	2007	18.9	18.9	16.4	16.4	16.4
1990	16.6	16.6	16.6	12.3	12.3	2008	12.3	12.3	16.6	16.6	16.6
1991	10.0	10.0	10.0	20.5	20.5	2009	20.5	20.5	10.0	10.0	10.0
1992	83.6	83.6	83.6	68.1	68.1	2010	68.1	68.1	83.6	83.6	83.6
1993	18.8	18.8	18.8	24.4	24.4	2011	24.4	24.4	18.8	18.8	18.8

تابع الجدول (5): كميات الأمطار اليومية القصوى للفترة 1976-2011 بأحواض الروافد المدروسة

السنة	حوض وادي مكة	حوض وادي السيل الكبير	حوض وادي الفيضة	حوض وادي الشعيب الأحمر	السنة	حوض وادي مكة	حوض وادي السيل الكبير	حوض وادي الفيضة	حوض وادي الشعيب الأحمر
1976	4.4	31.5	39.5	39.5	1994	39.5	39.5	31.5	4.4
1977	80.6	31.4	25.2	25.2	1995	25.2	25.2	31.4	80.6
1978	30.8	27.6	30.5	30.5	1996	30.5	30.5	27.6	30.8
1979	80.3	36.4	33.4	33.4	1997	33.4	33.4	36.4	80.3
1980	20.7	35.1	20.3	20.3	1998	20.3	20.3	35.1	20.7
1981	17.5	41.0	36.0	36.0	1999	36.0	36.0	41.0	17.5
1982	6.7	49.9	68.3	68.3	2000	68.3	68.3	49.9	6.7
1983	3.5	26.6	33.8	33.8	2001	33.8	33.8	26.6	3.5
1984	13.6	23.6	27.3	27.3	2002	27.3	27.3	23.6	13.6
1985	36.9	51.1	64.5	64.5	2003	64.5	64.5	51.1	36.9
1986	7.9	38.4	40.2	40.2	2004	40.2	40.2	38.4	7.9
1987	32.8	33.9	40.2	40.2	2005	40.2	40.2	33.9	32.8
1988	39.0	25.3	26.7	26.7	2006	26.7	26.7	25.3	39.0
1989	54.3	33.2	43.0	43.0	2007	43.0	43.0	33.2	54.3
1990	8.1	35.8	30.5	30.5	2008	30.5	30.5	35.8	8.1
1991	36.2	32.4	22.5	22.5	2009	22.5	22.5	32.4	36.2
1992	89.3	51.7	57.5	57.5	2010	57.5	57.5	51.7	89.3
1993	50.4	25.7	27.9	27.9	2011	27.9	27.9	25.7	50.4

- وبالاعتماد على بيانات الجدولين 4 و5 تم حساب عناصر الميزانية المائية لأحواض الروافد المدروسة، بحيث تبين:
1. أن كميات الأمطار اليومية القصوى للفترة ما بين 1976-2017 لها القدرة على توليد جريان سطحي بجميع أحواض الروافد عدا أمطار سنة 2006 بأحواض أودية حورة وملح وصفية وأمطار سنة 2004 بأحواض أودية السيل الكبير والفيضة والشعيب الأحمر وأمطار سنتي 2004 و2006 بحوضي وادي زعر ووادي بشم وأمطار سنوات 1976 و1982 و1983 و1984 و1986 و1990 و1994 و2004 و2006 و2009 بحوض وادي مكة.
 2. أن كميات الأمطار اليومية القصوى التي لها القدرة على توليد جريان سطحي تتراوح بين 6.6 ملم/يوم (1985) و83.6 ملم/يوم (1992) بأحواض أودية ملح وحورة وصفية وبين 10.8 ملم/يوم (2009) و72.0 ملم/يوم (1979) بحوضي وادي زعر ووادي بشم وبين 14.7 ملم/يوم (1999) و89.3 ملم/يوم (1992) بحوض وادي مكة وبين 12.3 ملم/يوم (2010) و104.4 ملم/يوم (2002) بحوض وادي السيل الكبير وبين 7.5 ملم/يوم (2010) و151.5 ملم/يوم (1998) بحوضي وادي الفيضة ووادي الشعيب الأحمر.
 3. أن كميات الفائض المائي تتراوح بين 2.5 ملم/يوم (1985) و79.5 ملم/يوم (1992) بأحواض أودية ملح وحورة وصفية وبين 2.4 ملم/يوم (2009) و63.6 ملم/يوم (1979) بحوضي وادي زعر ووادي بشم وبين 1.0 ملم/يوم (1999) و75.6 ملم/يوم (1992) بحوض وادي مكة وبين 6.8 ملم/يوم (2010) و98.9 ملم/يوم (2002) بحوض وادي السيل الكبير وبين 2.5 ملم/يوم (2010) و146.5 ملم/يوم (1998) بحوضي وادي الفيضة ووادي الشعيب الأحمر.
 4. أن كميات الفاقد بواسطة التسرب تتراوح بين 1.5 ملم/يوم (1991) و13.4 ملم/يوم (1992) بحوض وادي حورة وبين 0.2 ملم/يوم (2005) و0.7 ملم/يوم (1992) بحوض وادي ملح وبين 1.3 ملم/يوم (1991) و14.8 ملم/يوم (1992) بحوض وادي صقية وبين 0.2 ملم/يوم (1986) و21.9 ملم/يوم (1997) بحوض وادي زعر وبين 0.6 ملم/يوم (1990) و17.7 ملم/يوم (1997) بحوض وادي بشم وبين 3.4 ملم/يوم (1980) و32.9 ملم/يوم (1992) بحوض وادي مكة وبين 2.7 ملم/يوم (2006 و2010) و17.6 ملم/يوم (2002) بحوض وادي السيل الكبير وبين 2.7 ملم/يوم (2008) و16.2 ملم/يوم (2002) بحوض وادي الفيضة وبين 2.6 ملم/يوم (2008) و18.2 ملم/يوم (1998) بحوض وادي الشعيب الأحمر.
- ومن خلال ما تقدم نجد أن كمية الجريان السطحي التي ولدتها الأمطار اليومية القصوى للفترة ما بين 1976-2017 بمختلف أحواض الروافد تتراوح بين 0.3 ملم/يوم (1985) و63.1 ملم/يوم (1992) بأحواض وادي حورة ووادي ملح ووادي صقية وبين 0.1 ملم/يوم (2009) و38.3 ملم/يوم (1979) بحوضي وادي زعر ووادي بشم وبين 0.2 ملم/يوم (1981) و39.7 ملم/يوم (1992) بحوض وادي مكة وبين 1.3 ملم/يوم (2010) و77.3 ملم/يوم (2002) بحوض وادي السيل الكبير وبين 0.2 ملم/يوم (2010) و2.125 ملم/يوم (1998) بحوضي وادي الفيضة ووادي الشعيب الأحمر.

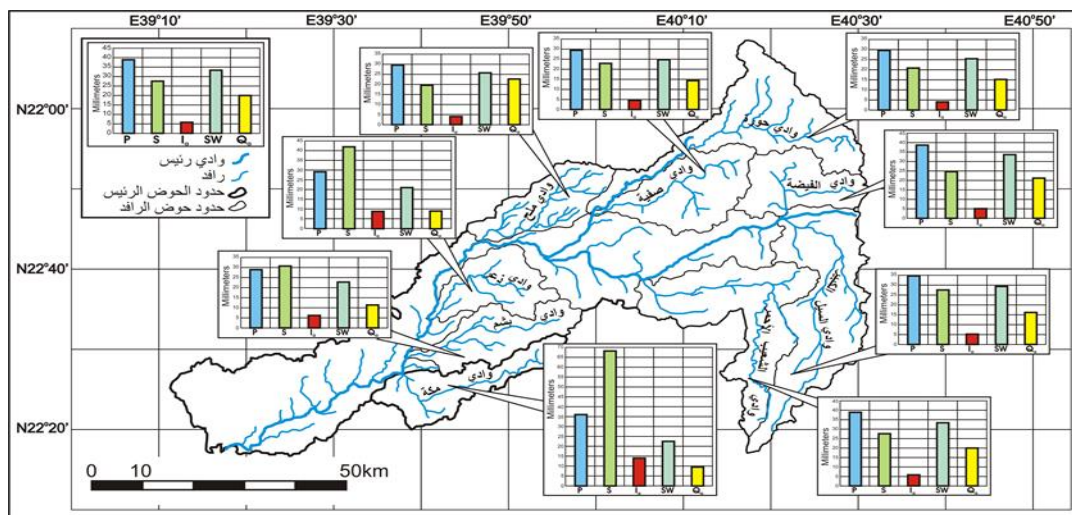
2- الميزانية المائية للفترة 1976-2011

- انتهت هذه الدراسة إلى تحديد معدلات عناصر الميزانية المائية بأحواض الروافد كما يلخصها الجدول 6 والشكل 8.
- يتراوح متوسط الأمطار اليومية القصوى للفترة 1976-2011 بين 29.4 ملم/يوم بأحواض أودية حورة وملح وصفية وزعر وبشم و39.9 ملم/يوم بحوضي وادي الفيضة ووادي الشعيب الأحمر، في حين يتراوح متوسط حجم الأمطار اليومي بين 10.5 مليون م³/يوم بحوض وادي صقية و21.3 مليون م³/يوم بحوض وادي الشعيب الأحمر.
- ويتراوح متوسط معامل الاستخلاص الأولي اليومي للفترة المذكورة بين 3.9 ملم/يوم بحوض وادي ملح و13.7 ملم/يوم بحوض وادي مكة، وهو يمثل نسباً تتراوح بين 12.8% و38.0% من مياه الأمطار بحوض وادي الفيضة ووادي مكة على التوالي. في حين يتراوح متوسط حجم معامل الاستخلاص الأولي اليومي بين 1.2 مليون م³/يوم بحوض وادي ملح و3.8 مليون م³/يوم بحوض وادي مكة.

الجدول (6): متوسطات عناصر الميزانية المائية لأحواض الروافد المدروسة خلال الفترة 2011-1976

الحوض المائي	P (mm)	S (mm)	Ia (mm)	SW (mm)	Qa (mm)	Etp (mm)	Percolation (mm)
وادي حورة	29.4	20.7	4.1	25.3	15.4	3.6	6.3
وادي ملح	29.4	19.4	3.9	25.5	22.5	3.6	0.0
وادي صقية	29.4	23.0	4.6	24.8	14.5	3.6	6.7
وادي زعر	29.0	41.9	8.4	20.6	8.9	3.6	8.1
وادي بشم	29.0	30.8	6.2	22.8	11.5	3.6	7.7
وادي مكة	36.1	68.5	13.7	22.4	9.5	3.6	9.3
وادي السيل	34.8	27.7	5.5	29.3	16.4	4.1	8.8
وادي الفيضة	39.0	24.9	5.0	34.0	21.4	4.1	8.5
وادي الشعيب	39.0	27.7	5.5	33.5	20.2	4.1	9.2

p: الأمطار (مم)، S: الطاقة القصوى لاحتفاظ التربة بالمياه (مم)، Ia: معامل الاستخلاص الأولي (مم)، SW: الفائض المائي (مم)، Qa: الجريان السطحي (مم)، Etp (مم): التبخر-نتح، Percolation: التسرب (مم).



الشكل (8): التباين المكاني لعناصر الميزانية المائية للفترة 2011-1976 لأحواض روافد وادي فاطمة المدروسة المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على بيانات الجدول 6.

كما يتراوح متوسط الفائض المائي اليومي للأمطار بين 20.6 مم/يوم بحوض وادي زعر و34.0 مم/يوم بحوض وادي الفيضة. وهو يمثل نسباً تتراوح بين 62.0% و87.2% من مياه الأمطار بحوض وادي مكة ووادي الفيضة على التوالي. في حين يتراوح متوسط حجم الفائض المائي اليومي بين 5.1 مليون م³/يوم بحوض وادي زعر و18.3 مليون م³/يوم بحوض وادي الشعيب الأحمر.

وقد نتج عن هذا الفائض المائي متوسط جريان سطحي يومي يتراوح بين 8.9 ملم/يوم بحوض وادي زعر و22.5 ملم/يوم بحوض ملح. وهو يمثل نسباً تتراوح بين 30.7% و76.5% من مياه الأمطار بحوض وادي زعر ووادي ملح على التوالي وبين 42.4% و88.2% من متوسط الفائض المائي اليومي بحوضي وادي مكة ووادي ملح على التوالي. في حين يتراوح متوسط حجم الجريان السطحي اليومي بين 2.2 مليون م³/يوم بحوض وادي زعر و11.0 مليون م³/يوم بحوض وادي الشعيب الأحمر.

ومن خلال ما تقدم يتضح أن حوض وادي الشعيب الأحمر هو أكثر الأحواض قدرة على تحويل مياه الأمطار إلى مياه جريان سطحي نظراً لإتسامه بالخصائص الجيولوجية والتضاريسية والمناخية المساعدة على توليد فائض مائي تصل نسبته إلى 85.9% من متوسط كميات الأمطار اليومية القصوى للفترة 1976-2011، يتحول منه 51.8% إلى جريان سطحي مباشر. وترتبط قدرة حوض وادي الشعيب الأحمر العالية على إنتاج فائض مائي بارتفاع متوسط كميات الأمطار وبطابعه الجبلي وبمساحة تصريفه الكبيرة، وهي كلها خصائص ساهمت في توليد ميزانية مائية لها القدرة على توفير موارد مائية سطحية مهمة يمكن استغلالها في العديد من المجالات.

كما تبين أن حوض وادي زعر هو أقل الأحواض قدرة على توفير موارد مائية سطحية لأنه يتسم بمتوسط للأمطار اليومية القصوى لا يتعدى 29.0 ملم/يوم وبمتوسط فائض مائي يومي لا يتعدى 20.6 ملم/يوم وبمتوسط جريان سطحي يومي لا يتعدى أيضاً 8.9 ملم/يوم ويمثل نسبة لا تتعدى 30.7% من متوسط مياه الأمطار اليومية القصوى للفترة 1976-2011. وعليه فإن حجم الفائض المائي لحوض وادي زعر لا يتعدى 5.1 مليون م³/يوم، يتحول منه فقط 2.2 مليون م³/يوم إلى جريان سطحي مباشر. ويعتبر هذا المتوسط هو أدنى حجم من الجريان السطحي على مستوى كل أحواض الروافد المدروسة.

النتائج

أظهرت نتائج هذه الدراسة إمكانية الاستفادة من التوظيف المتكامل لنموذج NRCS-CN لتقدير الفائض المائي ومعامل الاستخلاص الأولي والجريان السطحي المباشر من جهة ونماذج تقدير التبخر- نتح لتقدير الفاقد المائي من جهة ثانية لاستخدامها في حساب الميزانية المائية لأحواض التصريف الجافة. كما تبين من خلال نتائج هذه الدراسة إمكانية الاستفادة من الخطوات المنهجية لهذه الدراسة في تقدير الميزانية المائية بأحواض التصريف بالمملكة العربية السعودية التي تتوفر فيها محطات مطرية خريطة لأنواع التربة.

وقد ساهم توفر بيانات الأمطار اليومية القصوى للفترة 1976-2011 وخريطة الموارد الأرضية (خريطة التربة) بمقياس 1:500,000 والخريطين الجيولوجية والطوبوغرافية بمقياس 1:250,000 على التعرف بأحواض الروافد وتحديدتها من مخرجات نموذج الارتفاعات الرقمية ASTER Dem 30m. وعليه فقد توصلت هذه الدراسة إلى:

1. تحديد متوسط كميات الأمطار اليومية القصوى (P) التي لها القدرة على توليد فائض مائي (SW) يتحول إلى جريان سطحي مباشر (Q_a) وفاقد مائي (I_a) يتحول إلى تبخر- نتح (Etp) وتسرب (Infiltration)، بحيث تراوح متوسط الأمطار اليومية القصوى للفترة 1976-2011 بين 29.0 ملم/يوم بحوضي وادي زعر ووادي ببشم من جهة و39.0 ملم/يوم بحوضي وادي الفيضة ووادي الشعيب الأحمر من جهة ثانية.
2. تحديد منحني التربة الموزون (CNw) لكل حوض مائي، بحيث تراوحت قيم هذا المنحنى بين 78.8 بحوض وادي مكة و92.9 بحوض وادي ملح.
3. بالاعتماد على رقم منحني التربة توصلت هذه الدراسة إلى تقدير الطاقة القصوى لاحتفاظ التربة بالمياه (S) التي تراوحت قيمها بين 19.4 ملم/يوم بحوض وادي ملح و68.5 ملم/يوم بحوض وادي مكة.
4. بتوظيف قيمة الطاقة القصوى لاحتفاظ التربة بالمياه تم تقدير قيم معامل الاستخلاص الأولي الذي تراوح بين 3.9 ملم/يوم بحوض وادي ملح و13.7 ملم/يوم بحوض وادي مكة. كما تم تقدير كميات الفائض المائي التي تراوحت بين 20.6 ملم/يوم بحوض وادي زعر و34.0 ملم/يوم بحوض وادي الفيضة.
5. بالإضافة إلى ذلك أظهرت نتائج هذه الدراسة أن حوض وادي الشعيب الأحمر هو أكثر أحواض الروافد المدروسة قدرة على توفير ميزانية مائية بموارد مائية سطحية مهمة وأن حوض وادي زعر هو أقل الأحواض قدرة على تحويل مياه الأمطار إلى فائض مائي وميزانية مائية تساهم في تنمية الموارد المائية السطحية بحوض وادي فاطمة.

Integrative Employment of Hydrological and Climate Models in Estimating the Water Budget: A Case Study of the Wadi Fatimah Basin (Saudi Arabia)

Saleh Abdul Mohsen Al-Shammari

Technical and Academic Advisor in GIS Technics & Associate Professor at Hail University, KSA.

Abstract

This study relies on the application of NRCS-CN model proposed by the US National Resources Conservation Service widely used in estimating the initial coefficient (I_a), the potential maximum retention after runoff (S), the direct surface runoff (Q_a). The Makkink, Turc and Jensen-Haise models in estimating water losses by evaporation-transpiration due to the lack of actual measurements during the studied period. The required parameters of water balance were determined using the relationships between the NRCS-CN outputs and the evapotranspiration estimates.

To achieve the study objectives, this study used four mapping sources, that are; the ASTER Dem 30m in determining the the Wadi Fatimah catchment and its sub-basins, the Land resources map in extracting the weighted curves number, the Geologic maps (1:250000) to determine the rock formations, and the Topographic maps (1:250000) in analyze the relief properties. The maximum daily rainfall data recorded in stations of Mecca (J114), Bahrah Al-Jadida (J102), Taif (Al-Qadirah) (TA004), Wadi Muharram (TA106), and Mudrasah (J214) supervised by the Ministry of Environment, Water and Agriculture were used in computing water surplus.

The results of this study showed that the weighted curve numbers were ranged between 78.8 in Wadi Makkah basin and 92.5 in Wadi Huwarah basin, the daily rainfall average between 29.4 mm/day in the Wadi Huwarah, Milh, Şigiyah, Dhu'ar and Bashm basins and 39.0 mm/day in the Wadi Faydhah and Wadi Shu'aib Al Ahmar basins. The potential maximum soil moisture retention after runoff begins was ranged between 19.4 mm/day in the Wadi Milh basin and 68.5 mm/day in the Wadi Makkah basin, , the initial abstraction ranged between 4.1 in the Wadi Huwarah basin and 13.7 mm/day in the Wadi Makkah basin and the direct runoff ranged between 8.9 mm/day in the Wadi Dhu'ar basin and 22.5 mm/day in the Wadi Milh basin. So, the water surplus extracted from rainfall was ranged between 22.4 mm/day in the Wadi Makkah basin and 34.0 mm/day in the Wadi Faydah basin, the daily infiltration ranged between 6.3 mm/day in the Wadi Huwarah basin and 9.3 mm/day in the Wadi Makkah basin, and the daily evapotranspiration ranged between 3.6 mm/day in six basins and 4.1 mm/day in three basins.

Key-Words :Maximum daily rainfall, NRCS-CN Model, Climatic models, Hydrologic models, Water balance, Wadi Fatimah basin, Saudi Arabia.

المراجع العربية

- إدارة المساحة الجوية. (1986). *الخريطة الجيولوجية. 1:250,000*، مربع مكة المكرمة Sheet 21D، وزارة البترول والثروة المعدنية، الرياض، الطبعة الأولى.
- آل سعود، مشاعل بنت محمد. (2010). *خريطة مخاطر الفيضانات والسيول في مدينة جدة. بحوث جغرافية، الجمعية الجغرافية السعودية، جامعة الملك سعود، العدد 91.*
- البارودي، محمد سعيد. (1986). *الميزانية المائية لحوض وادي فاطمة. سلسلة بحوث جغرافية، الجمعية الجغرافية الكويتية، وحدة البحث والترجمة، جامعة الكويت، العدد 88.*
- بوروبة، محمد فضيل. (2007). *دراسة هيدرومورفومترية لتقدير حجم سيول حوض وادي عتود بالمملكة العربية السعودية. بحوث جغرافية، مركز دراسات الخليج والجزيرة العربية، جامعة الكويت، العدد 21.*
- الحربي، خالد مسلم. (1998). *مصادر المياه بمنطقة وادي الليث دراسة في جغرافية الموارد. رسالة ماجستير غير منشورة مقدمة لقسم الجغرافيا، كلية العلوم الاجتماعية، جامعة أم القرى مكة المكرمة.*
- محمود عبد الرحمن. (2019). *خريطة مخاطر الفيضانات والسيول في مدينة الرياض: نموذج محاكاة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. بحث غير منشور، 13 صفحة.*
- المديهي، خالد بن ناصر سليمان. (2001). *الميزانية المائية لحوض وادي حنيفة. سلسلة رسائل جغرافية، الجمعية الجغرافية السعودية، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة الملك سعود، الرياض، العدد 252.*
- وزارة الزراعة والمياه. (1994). *خريطة الموارد الأرضية. مقياس 1:500,000*، الرياض، 83 صفحة.

Arabic References In English

- Al Saud, Mashaal bint Mohammed. (2010). Flood and Flood Risk Map in Jeddah. *Geographical Research*, Saudi Geographical Society, King Saud University, No. 91.
- Al-Harbi, Khaled Muslims. (1998). *Water sources in the Leith Valley Region are Studied in the Geography of Resources*. Unpublished Master's Thesis Presented to the Department of Geography, Faculty of Social Sciences, Umm al-Qura University, Makkah.
- Al-Madheim, Khaled bin Nasser Suleiman. (2001). Water Budget for the Wadi Hanifa Basin. *Geographical Research Series*, No. 252, Saudi Geographical Society, Department of Geography, Faculty of Arts, King Saud University, Riyadh.
- Barudi, Mohammed Said. (1986). Water Budget for the Fatima Valley Basin. *Geographical Research Series*, No. 88, Kuwait Geographical Society, Research and Translation Unit, Kuwait University.
- Bourouba, Mohammed Fadil. (2007). Hydromorphometric Study to Estimate the Size of the Seoul Wadi Atud Basin in Saudi Arabia. *Geographical Research*, Centre for Gulf and Arabian Island Studies, Kuwait University, No. 21.
- Mahmoud, Abdel Rahman. (2019). *Flood and Flood Risk Map in Riyadh: Simulated Model Using GIS*. Unpublished Search, 13 pages.
- Managing Air Space. (1986). *Geological Map. 250,000: 1*, Makkah Al-Mukramh Square, Sheet 21D, Ministry of Petroleum and Mineral Resources, Riyadh, 1st edition.
- Ministry of Agriculture and Water. (1994). *Land Resources map. Scale 500,000: 1*, Riyadh, 83 pages.

English References

- Alagha, M.O.; Gutub, S.A. and Elfeki, A.M. (2016). Estimation of NRCS curve number from watershed morphometric parameters: A case study of Yiba watershed in Saudi Arabia. *International Journal of Civil Engin. And Techn.*, Vol. 7, Issue 2: 247-265.
- Alhassan, A.A.; McCluskey, A.; Alfaris, A. and Strzepek, K. (2016). Scenario Based Regional Water Supply and Demand Model: Saudi Arabia as a Case Study. *International Journal of Environmental Science and Development*, Vol.7, No.1:45-51.
- Al-Sefry, S. and Şen, Z. (2006). *Groundwater Rise Problem and Risk Evaluation in Major Cities of Arid Lands: Jeddah Case in Kingdom of Saudi Arabia*. *Water Resources Management* 20 (1): 91-108.
- Al-Zahrani, M.; Al-Areeq, A. and Sharif, H.O. (2016). Estimating urban flooding potential near the outlet of an arid catchment in Saudi Arabia. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, pp. 1-17, DOI: 10.1080/19475705.2016.1255668,
- Andrews, R. G. (1954). *The use of relative infiltration indices in computing runoff*. (unpublished) Soil Conservation Service, Forth Worth Texas.
- Dawod, G.M.; Mirza, M.N. and Al-Ghamdi, K.A. (2011). GIS-Based Spatial Mapping of Flash Flood Hazard in Makkah City, Saudi Arabia. *Journal of Geographic Information System* Vol.3, No.3, July 29, 2011, DOI:10.4236/jgis.2011.33019.
- Italconsult. (1969). *Water supply surveys for Jeddah-Makkah-Taif areas*. Final report. Geologic Investigation, Ministry of Agriculture and Water, Riyadh, Saudi Arabia.
- Jensen, M.E. and Haise, H.R. (1973). Estimation of evapotranspiration from solar radiation, *Journal of Irrigation and Drainage Division, Proceedings of the American Society Civil Engineers* (89):15-41.
- Keshk, A.A.; AlSharif, M.A.; Al-Mutari, K.A.; Al-Magrby, A.A. , Al-Asser, S.M. and Zareh, M.M. (2016). Evaluation of Water Quality in Parts of Wadi Fatimah, Western Saudi Arabia. *International Journal of Environmental & Agriculture Research (IJOEAR)*, Vol.2, Issue 7:1-6.
- Makkink, G.F. (1957). Testing the Penman formula by means of lysimeter. *Journal of the Institution of Water Engineers* (11): 277-288.
- McCuen, R.H. (1982). *A guide to hydrologic analysis using SCS methods*. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 145 pages.
- Mockus, V. (1949). *Estimation of total (and peak rates of) surface runoff for individual storms*. Exhibit A in Appendix B, Interim Survey Report (Neosho) River Watershed USDA.
- Moore, T.A. and Al-Rehaili, M.H. (1989). *Geologic map of the Makkah quadrangle*. sheet 2ID, Kingdom of Saudi Arabia: Saudi Arabian Directorate General of Mineral Resources Geoscience Map GM-107, scale 1:250,000, with text, 62 pages.
- Musgrave, G.W. (1955). *How much of the rain enters the soil? In Water*. The Yearbook of Agriculture 1955. U.S. Dep. Agric. U.S. Gov. Print. Off. Washington, DC. p. 151-159.
- Quraishi, A. and Al-Hassoun, S., (1996). Use of Talbot Formula for Estimating Peak Discharge in Saudi Arabia. *JKAU Eng. Sci.*, Vol. 8, pp. 73-85.
- S.C.S. (1972). *National Engineering Handbook*. Section 4. Hydrology, Soil Conservation Service, US Department of Agriculture: Washington, DC.
- Sadhan, A.S. (1980). *Water plan for Wadi Fatimah basin, Saudi Arabia*. A thesis for the degree of Master of Science in Water resources, University of Wyoming, Laramie, Wyoming.
- Şen, Z.; Al-Harithy, S.; As-Sefry, S. and Almazroui, M. (2017). Aridity and risk calculations in Saudi Arabian Wadis: Wadi Fatimah. *Earth System and Environment* (2017) :1-26.
- Shanti, A. (1966). *Oolitic iron ore deposits in Wadi Fatimah between Jeddah and Makkah*. Dir. Min. Res. Bull. 2, Jeddah.

- Sherman, L. K. (1949). *The Unit Hydrograph method. In Physics of the Earth*. O. E. Menizer Ed. Dover Publications, Inc. New York, N.Y., 514-525.
- Sokolov, A.A., Chapman, T.G. (1974). *Methods for Water Balance Computation (An International Guide for Research and Practice)*. A contribution to the international Hydrological Decade, UNESCO Press, Paris, 124 pages.
- Turc, L. (1961). Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle. *Annales Agronomiques* 12 (1) :13-50.
- USDA-TR55. (1986). *Urban Hydrology for small watersheds*. Department of Agriculture, NRCS, Conservation Engineering Division, USA.
- Woodward, D. E., Hawkins, R. H., Jiang, R., Hjelmfelt, A. T., Van Mullem, J. A. and Quan, Q. D. (2003). *Runoff curve number method: Examination of the initial abstraction ratio*. Proc. ASCE Conf. Proc., Philadelphia, PA, 118 (308).