

Journal of University Studies for inclusive Research

Vol.1, Issue 4 (2020), 929-955

USRIJ Pvt. Ltd.,

دراسة تحليلية لتقدير المتوسط اليومي لمركبات الميزانية المائية بأحواض روافد وادي العتك بشمالي غرب مدينة الرياض

Analyzed study for estimating the mean daily of water balance components in the Wadi Al A'tek (Al A'tsh) tributary watersheds in the west north of Riyadh area (Saudi Arabia)

د. راشد بن حمد راشد الدوسري (Rashed H. R. Al-Dosary)
وزارة التعليم – الرياض – المملكة العربية السعودية
rashed1923@hotmail.com

الملخص

يقدم هذا البحث تقديراً وتحليلاً لمركبات الميزانية المائية بأحواض أودية المياه وسدير ووراط روافد وادي العتك (العنش) بشمالي غرب منطقة الرياض بالاعتماد على التوظيف المتكامل لبيانات الأمطار اليومية القصوى للفترة 1985-2017 بمجموع 4 محطات مطرية هي ثادق (116R-473) وشقراء (006R-457) وحوطة سدير (005R-456) المجمع (101R-460) تابعة لوزارة الزراعة والمياه والبنية ولخريطة الموارد الأرضية (لوحة رقم 30) بمقياس 1:500000 التي أصدرتها وزارة الزراعة في عام 1994 ولنموذج NRCS-CN الذي صممه الهيئة الأمريكية لصيانة التربة Soil Conservation Service. وتهدف هذه الدراسة إلى تحليل الخصائص الاحصائية لتوزيع كميات الأمطار اليومية القصوى بأحواض أودية المياه وسدير ووراط وتقدير وتحليل الطاقة عناصر الميزانية المائية (الطاقة القصوى لاحتفاظ التربة بالماء، معامل الاستخلاص الأولي، عمق الجريان السطحي، الفاقد المائي) خلال الفترة 1985-2017. وتناولت منهجية هذه الدراسة تحليل الخصائص الاحصائية لتوزيع بيانات الأمطار اليومية القصوى بتطبيق مقاييس التشتت (المتوسط، الانحراف المعياري، الخطأ المعياري للمتوسط، الخطأ المعياري للانحراف المعياري) من جهة وتقدير رقم منحني التربة للغطاءات الأرضية باستخدام خريطة الموارد الأرضية والجداول المعيارية التي اقترحتها قسم الزراعة الأمريكي USDA-TR55 وتقدير عناصر الميزانية المائية بأحواض أودية المياه وسدير ووراط باستخدام مخرجات نموذج NRCS-CN بالإضافة إلى تقدير المتغيرات التضاريسية والمورفومترية من مخرجات نموذج الارتفاع الرقمي SRTM Dem 30m بواسطة أدوات التحليل المكاني Spatial Analyst وأدوات ملحق ArcHydro ومعادلات حساب المتغيرات التضاريسية والمورفومترية المتاحة بأدوات DEM surface tools و 3D Analyst المتاحة ببرنامج ArcGIS. كما اعتمدت هذه الدراسة على البيانات اليومية للأمطار اليومية خلال الفترة من يناير 1985 إلى ديسمبر 2017 بمحطات ثادق وشقراء وحوطة سدير والمجمعة وبيانات خريطة الموارد الأرضية ومخرجات نموذج الارتفاع الرقمي المنتج من المشروع الأمريكي والإيطالي والألماني المشترك

عام 2000م (Shuttle Radar Topographic Mission) المعروف اختصاراً بمسمى (SRTM) بوضوح مكاني قدره 30 متر. وقد توصلت هذه الدراسة إلى نتائج مهمة منها تحديد رقم منحنى التربة الموزون الذي بلغ 72.0 بحوض وادي المياه و 85.4 بحوض وادي سدير و 85.0 بحوض وادي وراط، في حين بلغ معامل الاستخلاص الأولي المناسب له 19.8 ملم و 8.7 ملم و 9.0 ملم على التوالي. كما تم حساب متوسط الأمطار اليومية القصوى الذي بلغ 27.6 ملم/يوم و 27.7 ملم/يوم و 27.5 ملم/يوم، في حين بلغ عمق الجريان المباشر المناسب له 0.6 ملم/يوم و 5.8 ملم/يوم و 5.4 ملم/يوم كذلك على التوالي. وفي الختام، فقد تمكنت هذه الدراسة من تحديد رقم منحنى التربة الموزون بأحواض أودية المياه وسدير و وراط و ما يناسبه من عناصر الميزانية المائية وتحليل توزيعها المكاني.

الكلمات الدالة:

الأمطار اليومية القصوى، رقم منحنى التربة، الغطاءات الأرضية، الطاقة القصوى لاحتفاظ التربة بالماء، معامل الاستخلاص الأولي.

Abstract

This research provides an estimate and analysis of the water balance components in the Al-Myah, Sudayr and Wûrat watersheds, tributaries of Wadi Al-A'tek (Al-Ātsh) in the northwest of the Riyadh region. The analysis is based on the integrated employment of maximum daily rain data for the period 1985-2017 in a total of 4 rain stations which are Thadiq (116R-473) and Shaqra'a (006R-457) Hawtat Sudayr (005R-456) Al Majma'a (101R-460) attributed to the Ministry of Agriculture, Water, and the Environment, the Land Resources Map (Sheet 30) with the scale of 1: 500000 issued in 1994 by the Ministry of Agriculture and the NRCS-CN model designed by the Soil Conservation Service. The objectives of this study seeks to analyze the statistical characteristics of the maximum daily rainfall the distribution in the watersheds of wadi Sudayr, Wûrat and Al-Myah. Also, the estimation of water balance components (Potential maximum retention, initial abstraction, direct surface runoff depth, water loss) during the period 1985-2017 is analyzed in each watershed. The methodology of this study deals with analyzing the statistical characteristics of the maximum daily rain data by applying dispersion measures (mean, standard deviation, standard error of the average, standard error of standard deviation), estimating the Curve Number deriving from the land resources map and the standard tables proposed by the USDA -TR55. The water balance components are also computed in the water Sudayr, Wûrat and Al-Myah watersheds using the outputs of the NRCS-CN model and morphometric variables derived from the SRTM Dem 30m digital model by Spatial Analyst, Arc Hydro extension and equations available in the DEM tools and 3D Analyst in with ArcGIS software. The results of this study show that the Weighted Curve Number is 72.0, 85.4 and 85.0 in the Al-Myah, Sudayr and Wûrat watersheds respectively. The average maximum daily rainfall for a weighted curve numbers is respectively 27.6 mm, 27.7 mm and 27.5 mm. The initial abstraction is ranged from 8.7 mm in wadi Sudayr watershed and 19.8 mm in wadi Al-Myah watershed. But, the direct runoff depth doesn't exceed 0.6 mm, 5.8 mm and 5.4 mm in Al-Myah, Sudayr and Wûrat watersheds respectively. As a conclusion, this study determined the weighted curve number in the studied watersheds of Sudayr, Al-Myah and Wûrat and analyzed the suitable spatial distribution of the water balance variables.

Key words:

Maximum daily rainfall, Curve number, Land cover, Potential maximum retention, Initial abstraction.

مقدمة

يعد الميزانية المائية من أهم الوسائل العلمية التي تعتمد عليها إدارة الموارد المائية عند وضع السياسات المائية والتخطيط لإنشاء المشاريع المائية. ويستخدم الميزانية المائية في خطط ترشيد استهلاك المياه من خلال تقدير الموارد والاحتياجات المائية الاستثمارية المتوافرة في منظومة مائية محددة وفي تقدير كفاية الموارد المائية المتاحة للأغراض المختلفة. ومع زيادة اهتمام مختلف دول العالم بحماية الموارد المائية بسبب التغير المناخي الذي طرأت تأثيراته البيئية على نظام تساقط الأمطار، تطورت وتعددت العديد من طرق حساب مركبات الميزانية المائية بحيث أصبحت أكثر دقة من جهة وأكثر قدرة على أخذ العوامل المحلية بالحسبان في تقدير هذه المركبات خاصة بالمناطق شبه الجافة والجافة من جهة أخرى.

وتواجه المملكة العربية السعودية كغيرها من دول العالم طلباً متزايداً على الموارد المائية لسببين رئيسيين هما موقعها الجغرافي في الإقليم المناخي المداري الجاف الذي يتميز بندرة الأمطار وتذبذب نظام هطولها في الزمان والمكان من جهة وكذلك الزيادة السكانية التي ترتب عنها نمو المراكز العمرانية وتوسع المدن الكبيرة وتضاعف احتياجاتها للمياه من جهة أخرى.

وتتطلب مواجهة الطلب المتزايد على الموارد المائية بالمملكة البحث عن حلول تعتمد على إمكانية توظيف الموارد المائية السطحية المعتبرة للسيول التي تحدث من فترة لأخرى من خلال معرفة مركبات الميزانية المائية التي ترتبط بخصائص الدورة المائية (الهيدولوجية) Hydrologic Cycle. وتعتمد دراسة الميزانية المائية على مدى توفر القياسات الفعلية لمختلف مركباتها بالمحطات الهيدرومترية التي تنشئها الدول على مجاري الأنهار والأودية للحصول على بيانات الأمطار والتبخر والجريان السطحي.

ونظراً لعدم توفر القياسات الفعلية الكافية عن التوزيع المكاني لمركبات الميزانية المائية نظراً لكبير مساحة المملكة وامتداد أحواض تصريفها على مساحة كبيرة في غياب مثل هذه المحطات بأحواض التصريف عدا محطات قياس الأمطار التي أنشأتها وزارة الزراعة والمياه والبيئة والمحطات المناخية التي أقامتها الرئاسة العامة للأرصاد وحماية البيئة بمختلف مطارات المملكة العربية السعودية، أصبح ضرورياً استخدام بدائل علمية أخرى تعتمد على النماذج الهيدروولوجية والمعادلات الرياضية لتقدير مركبات الميزانية المائية.

ويعرف الميزانية المائية بأنه "العلاقة الكمية التي تربط حجوم المياه الموجودة في منظومة ما أو في عناصرها مع بعضها أو مع الوسط الخارجي. والمنظومة هي منطقة طبيعية ينظر إليها ككل متكامل مؤلف من عدة عناصر هيدرولوجية وهيدروجيولوجية تختلف بدرجة إشباعها بالمياه، والوسط الخارجي هو كل ما يقع خارج هذه المنظومة (نتوف وأغا، 2012). وتمثل حدود المنظومة في هذه الدراسة مساحة التصريف للحوض المائي. ويسمح التحديد الدقيق لهذه المنظومة بتقدير حجوم المياه فيها وعلاقتها بالوسط الخارجي. وعليه وتبعاً لمقياس منظومة الحوض المائي تتحدد دورته الهيدرولوجية ومن ثم ميزانه المائي. وتبدأ الدورة الهيدرولوجية للحوض المائي من الهطول المطري وتنتهي بالجريان السطحي وتغذية المياه الجوفية بمياه الأمطار بواسطة عملية الترشيح.

وعليه تتشكل مركبات الميزانية المائية لمنظومة الحوض المائي من مدخلات هي عبارة عن كمية الهطول المطري (P) والرشح إلى المياه الجوفية (GR) ومخرجات هي التبخر (E) و النتج (E_{tp}) والجريان السطحي (R).

وتكمن الأهمية التطبيقية لحساب الميزانية المائية في كونه من أهم أدوات إدارة الموارد المائية المتاحة التي يوفرها بالأساس نظام الهطول المطري بشكل أساسي في المناطق شبه الجافة والجافة التي لا تتوفر فيها موارد مائية سطحية أخرى غير الأمطار مقارنة بالمناطق المعتدلة والباردة التي تعتبر فيها الثلوج والجليد والينابيع الدائمة موارد مائية سطحية أساسية لمنظومة الحوض المائي الهيدرولوجية. ومن جهة أخرى يستخدم الميزانية المائية في تقدير بعض المركبات الهيدرولوجية والهيدروجيولوجية، في حال توفر قياسات فعلية عن والرشح إلى المياه الجوفية والجريان السطحي. وبدأ مفهوم الميزانية المائية مع بداية الدراسات الهيدرولوجية للأحواض المائية، وتنوعت الدراسات والبحوث الهادفة إلى تطوير طرائق حسابه، وعرضت نتائجها في مؤتمرات وندوات علمية عديدة منذ سبعينات القرن الماضي وكان من أهمها ندوتي Reading في عام 1970 ببريطانيا وندوة Genterbrugge في عام 1972 ببلجيكا اللتين عقدتا تحت عنوان “World Water Balance” بإشراف ⁽¹⁾ IAHS/UNESCO/WMO والدراسة التي تقدم بها لمنظمة UNESCO في عام 1974 كل من (Sokolov & Chapman, 1974) بعنوان “Methods for Water Balance computations”. كما قدم العديد من المتخصصين في مؤتمر هلسنكي المنعقد في عام 1974 تحت عنوان “Hydrology of lakes” أوراقاً بحثية تطرقت لمشكلة الميزاني بمناطق مختلفة من العالم. وفي شهر أغسطس 1983 عقدت كذلك الجمعية العامة للاتحاد العالمي للجيوبيديسيا والجيوفيزياء الندوة 18 بهامبورغ في ألمانيا تحت عنوان “New approaches in Water Balance computation”. وقد نالت دراسة الميزانية المائية أهتمام العديد من الباحثين باستمرار في مؤتمرات SWAT ⁽²⁾ الدولية.

وعلى الصعيد المنهجي أدت الدراسات المتواصلة للميزانية المائية إلى تطوير عدة طرق لحساب مركباتها، بحيث أصبح بالإمكان حساب كل مركبة بعدة طرائق. كما لعب التطور الكبير في تقنيات الاستشعار عن بعد وفي المعالجة الرقمية لبيانات المرئيات الفضائية ونماذج الارتفاع الرقمي Digital Elevation Model (DEM) دوراً كبيراً في الحصول على الكثير من البيانات التي تتطلبها النمذجة الهيدرولوجية بأحواض التصريف. وبالتالي فإن البدائل من النماذج الهيدرولوجية تمكنت من تقدير العديد من مركبات الميزانية كما هو الحال بالنسبة لنموذج NRCS-CN المعتمد في هذه الدراسة لتقدير عمق الجريان السطحي. بالإضافة إلى ذلك فقد ساعد التوظيف المتكامل للنماذج المناخية (نماذج تقدير التبخر-نتج) والنماذج الهيدرولوجية (نماذج تقدير التدفق والجريان السطحي) في تقدير المركبات الأساسية للميزانية المائية وهي الفائض المائي (الجريان السطحي) والفاقد المائي (التبخر-نتج). وبالتالي فإن بناء العلاقات الرياضية بين المركبات الأساسية ساعد بدوره في الحصول على باقي المركبات الناتجة من مخرجات العلاقات المتبادلة بين المركبات الأساسية المحسوبة.

(1) IAHS (International Association of Hydrological Sciences), UNESCO (United Nations Educational Scientific and Cultural Organization), WMO (World Meteorological Organization).

(2) SWAT (Soil and Water Assessment Tool).

ويعرض هذه البحث تقدير مركبات الميزانية المائية لأحواض أودية وراط (461.0 كم²) ووادي سدير (455.6 كم²) ووادي المياه (883.4 كم²) روافد وادي العتك بالاعتماد على التوظيف المتكامل لنموذج NRCS-CN في تقدير معامل الاستخلاص الأولي للتربة والطاقة القصوى لاحتفاظ التربة بالماء وهي المتطلبات الضرورية لحساب عمق الجريان المباشر من جهة ومخرجات نموذج هارقريفز-سماني (Haregreaves-Samani) لحساب المتوسط اليومي لكمية لتبخر-نتج. وتشكل نتائج هذه الدراسة نواة جيدة لبناء قاعدة بيانات للميزانية المائية لأحواض روافد وادي العتك الذي يصرف مساحة تعادل حوالي 13899.7 كم². كما أنها تقدم منهجية متكاملة يمكن التوسع فيها وتعميمها على أحواض تصريف أخرى بالمملكة العربية السعودية.

(1)- منطقة الدراسة

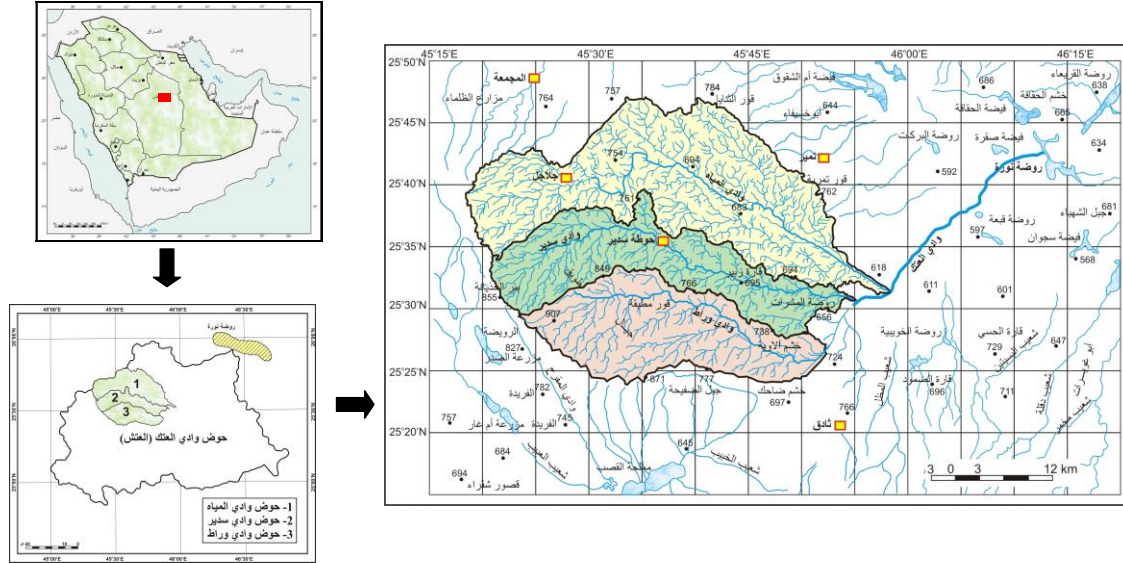
تعتبر أودية المياه وسدير ووراط الروافد الرئيسية التي يتشكل منها مجرى وادي العتك الذي يجري من الجنوب الغربي، شمالي مملحة القصب باتجاه الشمال الشرقي حتى يصب في روضة نورة. وتمتد أحواض التصريف لهذه الأودية بين خطي الطول $45^{\circ}17'$ و $45^{\circ}58'$ شرقاً وبين دائرتي العرض $25^{\circ}20'$ و $25^{\circ}50'$ شمالاً (الشكل 1).
ويحد أحواض التصريف لهذه الأودية الثلاثة حافات جبل طويق من الجنوب و حوض وادي النخل من الشمال الغربي وأحواض روافد مملحة القصب من الجنوب الغربي وحوض وادي الشوكي من الشمال ومنخفض روضة نورة من الشرق و الحوض الأعلى لوادي المقرح من الغرب. ويتشكل مجرى وادي العتك بعد التقاء وادي المياه ووادي سدير على ارتفاع حوالي 615 م شمالي شرق روضة المشرات.

ويتسم حوض وادي العتك وروافده بظروف مناخية لا تختلف من حيث التغيرات الزمنية والمكانية عن الظروف المناخية لمنطقة الرياض. فمتوسط درجات الحرارة الشهري يتراوح بين 13.7 م° خلال شهر يناير و 36.0 م° خلال شهري يوليو، في حين تتراوح متوسطات درجة الحرارة العظمى بين 20.5 م° خلال شهر يناير و 43.8 م° خلال شهري يوليو. بينما تتراوح متوسطات درجة الحرارة الدنيا بين 7.2 م° خلال شهر يناير و 26.8 م° خلال شهري يوليو وأغسطس⁽³⁾. كما يتراوح متوسط الرطوبة النسبية الشهري بين 10.7 % خلال شهري يونيو ويوليو و 47.9 % خلال شهر ديسمبر، في حين تتراوح متوسطات الرطوبة العظمى بين 17.5 % خلال شهر يوليو و 68.9 % خلال شهر ديسمبر. بينما تتراوح متوسطات الرطوبة الدنيا بين 6.0 % خلال شهر يونيو و 29.6 % خلال شهر ديسمبر⁽⁴⁾. ويتأثر حوض وادي العتك وروافده بهبوب الرياح بمتوسط سرعة الرياح يتراوح بين 7.3 كم/ساعة خلال شهر أكتوبر و 12.7 كم/ساعة خلال شهر يوليو، في حين تتراوح متوسطات السرعة القصوى بين 30.2 كم/ساعة خلال شهر سبتمبر و 57.6 كم/ساعة خلال شهر يوليو⁽⁵⁾. وتهب الرياح الشمالية شمالية شرقية على منطقة الحوض المائي لوادي العتك وروافده خلال الفترة الممتدة من ديسمبر إلى أبريل والرياح الشمالية من مايو إلى

(1) و (2) و (3)- المتوسطات الشهرية لعناصر المناخ خلال الفترة 1985-2017 م بمحطة مطار الملك خالد المناخية.

(4)- بيانات الأمطار للفترة 1985-2017 بمحطات حوطة سدير وشقراء والمجمعة وثادق.

سبتمبر والرياح الجنوبية خلال شهر سبتمبر. ويتسم حوض وادي العتك وروافده بمعدل سنوي للأمطار بلغ خلال الفترة 1985-2017 على إجمالي مساحة التصريف 107.5 ملم وبمتوسطات شهرية تتراوح بين 8.7 و 21.0 ملم⁽⁶⁾.



الشكل 1 : الموقع الجغرافي للأحواض روافد وادي العتك المدروسة

المصدر : الخريطة الطبوغرافية 250000/1 ، لوحة المجموعة ، Sheet NG38-11 ، طبعة 1-SA-ASD ، وزارة البترول والثروة المعدنية ، إدارة المساحة الجوية ، الرياض.

وتعتبر التكوينات الجيولوجية لحوض وادي العتك ورافده جزءاً من تكوينات الرف العربي الرسوبية. وتتنوع هذه التكوينات من حيث العمر والبنية الجيولوجية والتركيب الصخري كما تظهره الخريطة الجيولوجية لمربع شقراء (Valset et al., 1988). وتغطي مساحة التصريف لحوضي وادي وراط ووادي سدير رسوبات الزمن الرابع من الصفائح الحصىة ورسوبات الأودية والمصاطب النهرية بالإضافة إلى تكوينات الجوراسي المتأخر التي تتشكل بالأساس من تكوين الجبيلة وتكوين حنيفة ، في حين نجد أن التكوينات الجيولوجية لحوض وادي المياه أكثر تنوعاً من مثيلتيها بحوض وادي وراط ووادي سدير بسبب كبر مساحة التصريف. وتتشكل المنكشفات الصخرية لحوض وادي المياه من رسوبات الزمن الرابع (صفائح حصىة ، رواسب المصاطب النهرية والسفوح والمنحدرات بالإضافة للرمال الريحية) وصخور تكويني عرمة والوسيع التي تعود للكريتاسي المتأخر وصخور مجموعة شقراء وتكوين الجبيلة وتكوين حنيفة التي تعود إلى الجوراسي المتأخر (Valset et al., 1988).

(2)- الدراسات السابقة

تنقسم الدراسات السابقة ذات العلاقة بموضوع الدراسة إلى ثلاث مجموعات من الدراسات هي دراسة عن تقدير التبخر-نتح ودراسات عن الجريان السطحي ودراسات عن الميزانية المائية. أما الدراسات التي تناولت تقدير التبخر-نتح فهي كثيرة ومتنوعة بدأت تتطور بشكل كبير مع بداية أربعينات القرن الماضي، بحيث صمم علماء المناخ والهيدرولوجيا العديد من المعادلات التجريبية Empirical formulas التي استخدمت عناصر الطقس والمناخ في حساب كمية التبخر-نتح. وعليه نجد أن بعض النماذج اعتمدت على درجة الحرارة في التبخر-نتح وأكثرها استخداماً نماذج (Blaney-Criddle, 1945) و (Thorntwaite, 1948) و (Holdridge, 1972) ونماذج أخرى اعتمدت على الرطوبة أهمها نموذج (Garcia-Lopez, 1970) وأخرى استخدمت الإشعاع الشمسي وأهمها نماذج (Turc, 1961) و (Penman, 1948) و (Bouchet, 1961) و (Brochet-Gerbier, 1972) ونماذج أخرى وظفت عنصري درجة الحرارة والإشعاع الشمسي وأهمها نموذج (Hargreaves-Smani, 1982) ونموذج (Jensen-Haise, 1963) بالإضافة إلى نموذج (Penman-Monteith-FAO, 1998) المطور ونموذج (Makkink, 1957) الذي يعتمد على عناصر الطقس.

وتعتبر ظاهرة التبخر بصفة عامة الميزة الأساسية لمناخ المملكة نظراً لارتباطها المباشر بدرجة الحرارة والإشعاع الشمسي. في حين هناك قليل من الدراسات التي تناولت تحليل هذه الظاهرة ومعالجة تأثيراتها البيئية، نظراً لقلّة بيانات القياسات الفعلية للتبخر بالمحطات المناخية. ولقد ظهرت أولى الدراسات التي تناولت تقدير التبخر في المملكة العربية السعودية في عام 1977 ضمن مشروع المناخ الزراعي التي قامت بها المنظمة العربية للتنمية الزراعية واعتمدت فيها على تطبيق نموذجي بنمان وتورك. بعد ذلك ظهرت النتائج الأولى لقياسات التبخر الكامن باستخدام حوض التبخر صنف "أ" مع تصميم خرائط التوزيع المكاني لها بأطلس المناخ الذي أصدرته وزارة الزراعة والمياه في عام 1988. كما نشر قسم المياه في نفس الوزارة بيانات قياسات حوض التبخر صنف "أ" بالنشرات الهيدرولوجية الشهرية التي كان يصدرها. وبعد ذلك قامت وزارة الزراعة بإنشاء شبكة من 41 حوض صنف "أ" لقياس التبخر Class A Pan خلال الفترة 1964-1984 (الغشيان، 1999). كما ظهرت بعض الدراسات الفردية التي أهتمت بتقدير وتحليل التبخر-نتح الكامن في المملكة كدراسة (الجراش، 1992) وهي دراسة مقارنة لأداء نموذجي (Penman, 1954) و (Ivanov, 1954). ودراسة (الطاهر، 1998) لظاهرة التبخر-نتح الكامن التي إنتهت إلى صياغة نموذج لتقدير المتوسط الشهري للتبخر بواسطة العلاقة بين أربعة عناصر مناخية هي الحرارة والإشعاع الشمسي والرطوبة النسبية وسرعة الرياح من جهة وكمية التبخر بواسطة حوض التبخر نوع "أ" من جهة ثانية. كما قدم (بوروبه، 2007) دراسة تناولت معايرة قيم نماذج حساب التبخر-نتح بواسطة حوض التبخر نوع "أ" بمنطقة عسير الجبلية اعتمدت على تطبيق إثني عشرة نموذج في ست محطات هي أبها وبيشة وتثليث و سر لعصان و سراة عبيدة و النماص. وفي عام 2007 قدمت كذلك بن حشر دراسة عن تأثير خصائص الأمطار والتبخر على تقدير الميزانية المائية بشمال المملكة العربية السعودية اعتمدت فيها تطبيق معادلة (تورنثوايت 1948) باستخدام البيانات المناخية لإحدى عشر محطة تم خلالها دراسة الخصائص التوزيعية لمتوسطات التبخر السنوية والفصلية ودرجة تذبذبها اعتماداً على معامل الاختلاف لمحطات الدراسة.

وفي ما يتعلق بتقدير الجريان السطحي ظهرت العديد من نماذج تقدير الجريان السطحي منذ ثلاثينيات القرن الماضي. وفي عام 1933 تم إنشاء مصلحة تعرية التربة Soil Erosion Service (SES) التي تهتم بكل ما يتعلق بعملية انجراف بالولايات المتحدة الأمريكية، والتي تم تغييرها لاحقاً إلى مصلحة صيانة التربة Soil Conservation Service (SCS). ولقد تم تكليفها بمهمة إنشاء ومعاينة مشاريع حفظ التربة والإشراف على تصميم وبناء تدابير الحفاظ عليها. وفي حينها أدركت هذه المصلحة مدى الحاجة إلى الحصول على البيانات الهيدرولوجية لتقدير معدلات الجريان السطحي.

ومع تمرير قانون مكافحة الفيضانات لعام 1936 (القانون العام 74-738)، تم تكليف وزارة الزراعة بمتابعة تسيير هياكل السيطرة على الجريان السطحي والحماية من تآكل التربة. وكخطوة أولى قررت وزارة الزراعة الحصول على معدلات مياه الرش (التسرب) بالعديد من المواقع في جميع أنحاء البلاد (Woodward et al. 2002).

ولتلبية متطلبات بيانات الرش، قامت مصلحة صيانة التربة والوكالات الأخرى بتشغيل الآلاف من أجهزة قياس مياه الرش Infilometer خلال الثلاثينيات والأربعينيات من القرن العشرين في المواقع التجريبية. ولتحديد الخصائص الهيدرولوجية لأحواض التصريف على النحو المناسب. تمكنت وزارة الزراعة في أوائل الأربعينيات من القرن العشرين من وضع بعض الطرق لتقدير الجريان السطحي التي تعتمد بالأساس على بيانات مياه الرش. وفي عام 1949 اقترح Sherman طريقة لتحديد الجريان السطحي المباشر المرافق للعاصفة المطرية.

وبناء على تلك الفكرة اقترح أيضاً في نفس السنة Mockus طريقة أخرى لتقدير الجريان السطحي باستخدام مجموعة من العوامل هي نوع التربة، واستخدام الأراضي، ومساحة المنطقة والموقع، وهطول الأمطار السابق، ومدة وعمق العاصفة، ومتوسط درجة الحرارة السنوية، وتوقيت العاصفة. وفي عام 1954 وجد Andrews في بيانات لم يتم نشرها عن مقياس مياه الرش لأنواع التربة بولايات تكساس وأوكلاهوما وأركنساس ولويسيانا أن نسيج التربة هو الخاصية المشتركة والثابتة داخل كل مجموعة من مجموعات التربة. وبناء على ذلك قام بتطوير طريقة بيانية لتقدير الجريان السطحي المباشر بواسطة العلاقة المركبة لنوع ونسيج التربة ونسبة الغطاء الأرضي لها وطرق حمايتها من الانجراف.

وفي عام 1955 وضع Musgrave التصنيف الهيدرولوجي للتربة على أساس معدل رشها للمياه في أربع مجموعات أساسية اعتماداً على الحد الأدنى من قدرة الرش وهي A و B و C التي تحتوي على الرمال و D التي تحتوي على الطين. ويعد نظام هذا التصنيف الهيدرولوجي الحجر الأساس لتصميم طريقة منحني الجريان السطحي NRCS-CN التي تم تطبيقها في هذه الدراسة.

وفي ما يتعلق بتقدير الميزانية المائية فقد ظهرت الكثير من الدراسات التي اعتمدت على القياسات الفعلية لمياه الأمطار بالمحطات المناخية ولمياه الجريان السطحي والرشح والتبخر بالمحطات الهيدرومترية التي أقامتها الكثير من الدول على مجاري أنهارها خاصة بأوروبا والولايات المتحدة الأمريكية وروسيا ودول آسيا وأستراليا.

وهناك العديد من الدراسات العربية التي تناولت ظاهرة التبخر - نتح الكامن ومدى تأثيراتها على النشاط الزراعي في ظل قلة الأمطار أو ندرتها أهمها الدراسات التي قام بها عدة باحثين لتحديد القيمة الفعلية للأمطار أو الاحتياجات المائية أو الميزانية المائية كدراسات (الشلش، 1976 و 1979)

و(القصاب، 1985) و(البياني، 1985) و(الجبوري، 2002) و(السمني، 2013) و(جاسم وحمدون ، 2014) و(زيتون ، 2016) و(الموسوي وآخرون ، 2016) و(كنجو وآخرون ، 2016). ولقد نالت الميزانية المائية اهتمام الكثير من الباحثين في المملكة لأهميتها في المناخ والزراعة والهيدرولوجي قدم العديد من الباحثين دراسات لتحديد الاحتياجات المائية للمحاصيل الزراعية بواسطة تقدير كمية التبخر- نتح بتطبيق معادلات تجريبية مختلفة في مناطق متباينة من حيث الخصائص المناخية والجغرافية كدراسات (Al Saaran, 1999) و (العمرى ، 2013) و (Sorman and Abdulrazzak, 1995).

ومن خلال ما تقدم يتضح أن الدراسات السابقة تناولت تحليل مركبات الميزانية المائية منفردة تبعاً لتوجه الباحث وتخصصه، في حين تتناول هذه الدراسة التوظيف المتكامل لنموذج NRCS-CN في تقدير الجريان السطحي والمعادلات التجريبية في تقدير التبخر الكامن وكذلك توظيف العلاقات القائمة بينها في تحليل الميزانية المائية في غياب القياسات الفعلية للتبخر ومياه الرشح.

(3)- منهجية الدراسة

تعتمد هذه الدراسة على المنهج التحليلي باستخدام العديد من البيانات التي تم الحصول عليها من مصادر متنوعة أو تم حسابها بتطبيق العديد من الطرق والأساليب الاحصائية المناسبة لموضوع الدراسة. وتتلخص الخطوات المنهجية المعتمدة في ما يلي:

3-1- جمع البيانات

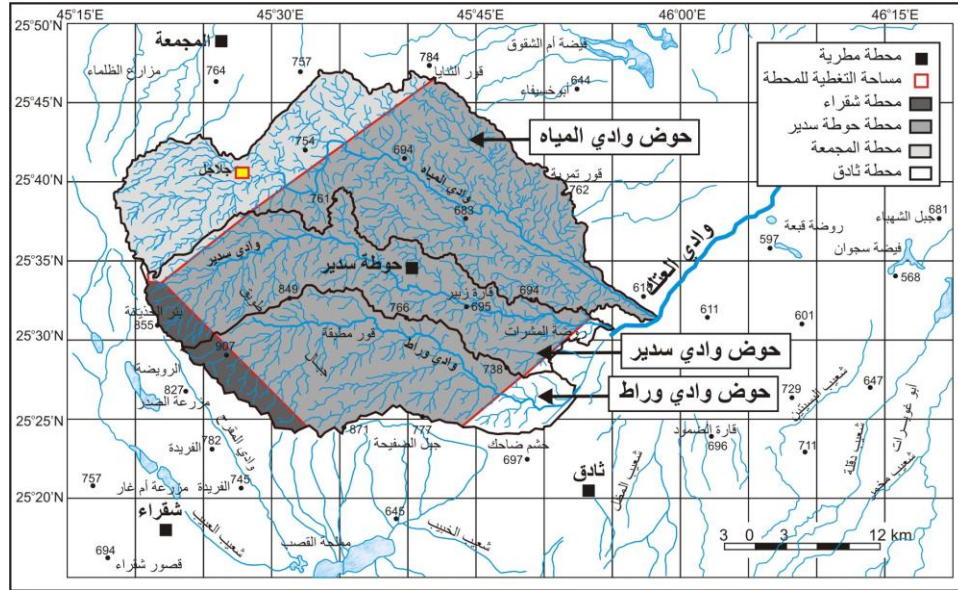
يتطلب حساب الميزانية المائية توفر البيانات التالية :

1- خريطة الغطاءات الأرضية Land Cover لتحديد رقم منحنى التربة. وتعتمد هذه الدراسة على خريطة موارد الأراضي للمملكة التي أصدرتها في عام 1994 وزارة الزراعة بمقياس 1:500000. وتمتد مساحة التصريف لأحواض أودية المياه وسدير ووراط على اللوحة رقم 30 التي تمثل مختلف الغطاءات الأرضية الطبيعية للأحواض المذكورة.

الجدول 1 : احداثيات المحطات المطرية والمناخية المدروسة

2- جمع البيانات المناخية وبيانات كميات الأمطار اليومية. وتعتمد هذه الدراسة على بيانات الأمطار اليومية القصوى للفترة 1985-2017 بمجموع 4 محطات مطرية تابعة لوزارة الزراعة والمياه والبيئة ، منها 3 محطة حوطة سدير التي تقع داخل مساحة التصريف لحوض وادي سدير ومحطات المجمع وشقراء وثادق المحيطة بأحواض الأودية المدروسة (الجدول 1 و 2) و (الشكل 2).

اسم المحطة	رقم المحطة	خط الطول (شرقاً)	دائرة العرض (شمالاً)	الارتفاع (متر)	كود المحطة	نوع المحطة
مطار الملك خالد	---	46°43'19"	24°55'31"	614	40437	مناخية
حوظة سددير	456	45°37'	25°32'	665	005 R	مطرية
شقرآء	457	45°15'	25°15'	730	006 R	مطرية
المجمعة	460	45°21'	25°53'	688	101 R	مطرية
ثادق	473	45°37'	25°20'	670	116 R	مطرية



الشكل 2 : خريطة الموقع الجغرافي للمحطات المطرية المدروسة

2-3- الخصائص الاحصائية لبيانات الأمطار

لتحليل الخصائص الاحصائية للبيانات المطرية تم حساب المتوسط الحسابي والانحراف المعياري ومعامل التباين وفحصهما بواسطة الخطأ المعياري لهما بتطبيق المعادلات التالية :

(أ)- الخطأ المعياري للمتوسط :

يحسب الخطأ المعياري للمتوسط بتطبيق المعادلة التالية :

$$SE_{X'} = \frac{SD}{n^{0.5}}$$

وفيها 'X' المتوسط وSD الانحراف المعياري لبيانات الأمطار للفترة المدروسة و n عدد القياسات.

(ب)- الخطأ المعياري للانحراف المعياري:

يحسب الخطأ المعياري للانحراف المعياري بتطبيق المعادلة التالية :

$$SE_{SD} = \frac{SD}{2n^{0.5}}$$

الجدول 2 : كميات الأمطار اليومية القصوى بالمحطات المدروسة

السنة	حوظة سدير	المجمعة	شقراء	ثادق	السنة	حوظة سدير	المجمعة	شقراء	ثادق
1985	23.0	27.6	27.4	18.2	2002	27.3	27.2	26.7	17.9
1986	27.6	17.5	17.0	11.5	2003	24.0	24.5	24.0	16.2
1987	27.2	35.0	22.0	25.0	2004	17.0	30.0	8.0	19.8
1988	22.4	14.2	21.6	29.0	2005	30.4	32.0	24.0	21.1
1989	14.8	20.5	13.2	20.0	2006	23.0	35.0	24.0	23.1
1990	18.5	30.2	16.7	16.0	2007	27.0	15.0	37.0	9.9
1991	20.0	56.0	17.5	6.0	2008	32.0	58.0	31.5	99.9
1992	52.8	32.5	34.8	41.0	2009	31.0	20.0	12.0	13.0
1993	22.0	42.0	46.0	31.0	2010	11.6	12.0	53.0	16.0
1994	18.6	16.5	20.0	25.0	2011	21.3	22.0	22.0	45.0
1995	79.8	52.0	55.0	40.0	2012	8.0	10.0	13.0	13.0
1996	42.4	34.5	40.0	12.0	2013	39.0	21.0	31.0	41.0
1997	40.0	49.0	42.0	32.3	2014	17.0	21.0	25.0	29.0
1998	17.8	34.5	21.0	22.8	2015	50.4	33.0	57.0	51.0
1999	15.4	22.0	18.0	14.5	2016	51.0	27.0	92.2	40.0
2000	35.5	3.0	25.0	2.0	2017	10.0	15.0	11.2	6.0
2001	15.6	18.0	15.0	11.9	---	---	---	---	---

(ج) - حساب مجال الثقة

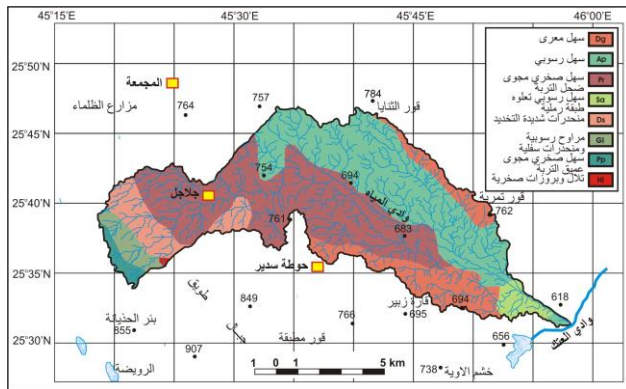
تم حساب المتوسط والانحراف المعياري عند مجال الثقة 0.98 و 0.95 و 0.90 بتطبيق المعادلات التالية : (الجدول 3).

3-3- حساب عناصر الميزانية المائية

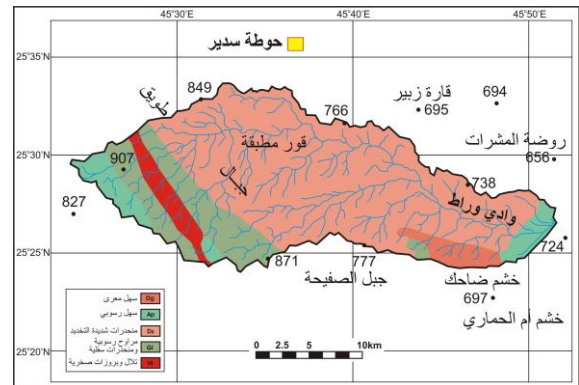
تم حساب مركبات الميزانية المائية بتطبيق نموذج NRCS-CN بواسطة سلسلة من المعادلات المتسلسلة والمتراصة على النحو التالي :

(أ) - حساب منحني التربة

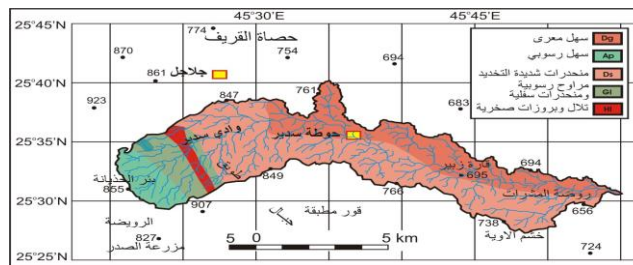
لحساب منحني التربة تم تحديد أنواع الغطاءات الأرضية لمساحة التصريف لأحواض روافد وادي العتك المدروسة (الأشكال 3 أ و 3 ب و 3 ج) وحساب توزيعها النسبي بكل حوض (الجدول 4).



الشكل 3 ب : خريطة التربة لحوض وادي المياه



الشكل 3 أ : خريطة التربة لحوض وادي وراط



الشكل 3 ج : خريطة التربة لحوض وادي سدبر

الجدول 3 : مجال الثقة للمتوسط وللانحراف المعياري

الانحراف المعياري	المتوسط	مجال الثقة
$SD \pm 2.33 \frac{SD}{2n^{0.5}}$	$X' \pm 2.33 \frac{SD}{n^{0.5}}$	0.98
$SD \pm 1.96 \frac{SD}{2n^{0.5}}$	$X' \pm 1.96 \frac{SD}{n^{0.5}}$	0.95
$SD \pm 1.65 \frac{SD}{2n^{0.5}}$	$X' \pm 1.65 \frac{SD}{n^{0.5}}$	0.90

الجدول 4 : التوزيع النسبي لمساحات الغطاءات الأرضية بأحواض التصريف المدروسة

المساحة (كم ²)	نوع الغطاء الأرضي	رمز الغطاء	الحوض المائي
15.0	سهل صخري مجوى عميق التربة	Pp	وادي المياه 883.4 كم ²
19.4	مراوح رسوبية ومنحدرات سفلية	GI	
57.4	منحدرات شديدة التحديد	Ds	
294.2	سهل صخري مجوى ضحل التربة	Pr	
370.1	سهل رسوبي	Ap	
106.0	سهل معري	Dg	
21.2	سهل رسوبي تعلوه طبقة رملية	Sa	
30.0	سهل رسوبي	Ap	وادي وراط

15.2	سهل معرى	Dg	461.0 كم ²
58.5	مراوح رسوبية ومنحدرات سفلية	GI	
11.1	تلال وبروزات صخرية	HI	
346.2	منحدرات شديدة التحديد	Ds	
30.5	سهل رسوبي	Ap	وادي سيدر 455.6 كم ²
27.3	مراوح رسوبية ومنحدرات سفلية	GI	
5.0	تلال وبروزات صخرية	HI	
287.0	منحدرات شديدة التحديد	Ds	
104.3	سهل معرى	Dg	
1.4	سهل صخري مجوى عميق التربة	Pp	

(ب)- حساب عناصر نموذج NRCS-CN

يعتمد تطبيق نموذج NRCS-CN على حساب العناصر التالية :

- الطاقة القصوى لاحتفاظ التربة بالماء وهي تساوي:

$$S(\text{mm}) = \frac{25400}{\text{CN}} - 254$$

وفيها CN رقم منحنى التربة.

- معامل الاستخلاص الأولي وهو يساوي :

$$I_a = 0.2 S(\text{mm})$$

- عمق الجريان السطحي وهو يساوي:

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

وفيها P هي كمية الأمطار (مم) و $Q_a(\text{mm})$ عمق الجريان السطحي المباشر.

- كمية الفاقد المائي وهو يساوي:

$$\text{Water Loss (mm)} = P - Q_a$$

ويمثل الفاقد المائي مجموع كميتي التبخر $E_{tp}(\text{mm})$ و الترشيح Infiltration (mm) .

$$\text{Water Loss (mm)} = E_{tp}(\text{mm}) + \text{Infiltration (mm)}$$

ومن ما تقدم نجد أن كمية الترشيح تساوي:

$$\text{Infiltration (mm)} = \text{Water Loss (mm)} - E_{tp}(\text{mm})$$

ويمكن الحصول على قيمة التبخر من القياسات المباشرة بالمحطات المطرية أو المناخية أو تقديرها بواسطة النماذج الرياضية في حال تعذر الحصول على هذه القياسات. ولقد تم استخدام درجات الحرارة المسجلة بمحطة مطار الملك خالد في تقدير متوسط التبخر-نتج للأحواض المائية المدروسة بتطبيق نموذج هارقرفز-سماني Hargreaves-Samani التالي : (Hargreaves-Samani, 1982)

$$PET_{HS}(\text{mm}) = 0.0023 R_a (T_{\max} - T_{\min})^{0.5} (T' + 17.8)$$

وفيها يمثل $PET_{HS}(mm)$ كمية التبخر-نتح اليومي الممكن (مم) ، R_a كمية الاشعاع اليومي خارج الغلاف الجوي ($MJ/m^2/day$) ، T_{max} درجة الحرارة اليومية القصوى ($^{\circ}C$) ، T_{min} درجة الحرارة اليومية الدنيا ($^{\circ}C$) ، T' متوسط درجة الحرارة اليومي ($^{\circ}C$).

(4)- النتائج والمناقشة

تتلخص نتائج هذه الدراسة في ما يلي :

1-4- الخصائص الاحصائية لبيانات الأمطار

تتسم الأمطار اليومية القصوى بالمحطات المطرية المدروسة بتجانس متوسطاتها وبتباين توزيعها الزمني، بحيث يتراوح معامل التباين بين 48% بمحطة المجمع و 73% بمحطة ثادق (الجدول 5). وعليه فإن توزيع الأمطار اليومية القصوى هو أكثر تذبذباً بمحطة المجمع وأكثر انتظاماً بمحطة ثادق. ويبلغ الخطأ المعياري للمتوسط 2.6 ملم/يوم بمحطة حوطة سدير و 2.3 ملم/يوم بمحطة المجمع و 3.0 ملم/يوم بمحطة شقراء و 3.2 ملم/يوم بمحطة ثادق، أي ما يعادل نسبة قدرها على التوالي 9.4% و 8.3% و 10.4% و 12.7% من المتوسط اليومي. وبالتالي فإن المتوسط اليومي للأمطار اليومية القصوى للفترة المدروسة يتراوح بين 25.1 و 30.3 ملم/يوم بمحطة حوطة سدير وبين 25.2 و 29.8 ملم/يوم بمحطة المجمع وبين 25.6 و 31.6 ملم/يوم بمحطة شقراء وبين 21.7 و 28.0 ملم/يوم بمحطة ثادق.

ومن ما تقدم نجد أن مجال الثقة لمتوسط الأمطار بلغ 6.1 ملم/يوم بمحطة حوطة سدير و 5.3 ملم/يوم بمحطة المجمع و 7.0 ملم/يوم بمحطة شقراء و 7.4 ملم/يوم بمحطة ثادق عند مستوى الأهمية 98%، أي ما يعادل نسباً قدرها على التوالي 21.9% و 19.4% و 24.3% و 29.7% من المتوسط. كما أن مجال مجال الثقة لمتوسط الأمطار بلغ 5.1 ملم/يوم بمحطة حوطة سدير و 4.5 ملم/يوم بمحطة المجمع و 5.9 ملم/يوم بمحطة شقراء و 5.2 ملم/يوم بمحطة ثادق عند مستوى الأهمية 95%، أي ما يعادل نسباً قدرها على التوالي 18.4% و 16.3% و 20.5% و 25.0% من المتوسط، في حين أن مجال الثقة لمتوسط الأمطار بلغ 4.3 ملم/يوم بمحطة حوطة سدير و 3.8 ملم/يوم بمحطة المجمع و 4.9 ملم/يوم بمحطة شقراء و 5.2 ملم/يوم بمحطة ثادق عند مستوى الأهمية 90%، أي ما يعادل نسباً قدرها على التوالي 15.5% و 13.7% و 17.2% و 21.0% من المتوسط.

الجدول 5 : الخصائص الاحصائية لكميات الأمطار اليومية القصوى بالمحطات المطرية المدروسة

ثادق	شقراء	المجمعة	حوظة سدير	المعيار الاحصائي
24.9	28.6	27.5	27.7	X'
18.2	17.2	13.1	14.9	SD
0.73	0.60	0.48	0.54	CV
99.9	92.2	58.0	79.8	Max
2.0	8.0	3.0	8.0	Min
3.2	3.0	2.3	2.6	SE _{X'}
2.2	2.1	1.6	1.8	SE _{SD}
7.4	7.0	5.3	6.1	0.98
6.2	5.9	4.5	5.1	0.95
5.2	4.9	3.8	4.3	0.90
5.2	4.9	3.8	4.3	0.98
4.4	4.1	3.2	3.6	0.95
3.7	3.5	2.7	3.0	0.90

بالاضافة إلى ذلك بلغت الأمطار اليومية القصوى أعلى كمية لها بما يعادل 79.8 ملم خلال يوم 1995/3/22 بمحطة الحوظة سدير و 58.0 ملم خلال يوم 2008/4/10 بمحطة المجمعة و 92.2 ملم/ خلال يوم 2016/11/27 بمحطة شقراء و 99.9 ملم خلال يوم 2008/11/7 بمحطة ثادق. وتفق هذه الكميات من الأمطار متوسط الأمطار اليومية القصوى بما يعادل 52.1 ملم/يوم بمحطة حوظة سدير و 30.5 ملم/يوم بمحطة المجمعة و 63.6 ملم/يوم بمحطة شقراء و 75.0 ملم/يوم بمحطة ثادق، أي ما يعادل زيادة قدرها أيضاً على التوالي 1.9 مرة و 1.1 مرة و 2.2 مرة و 3.0 مرات.

2-4- حساب عناصر الميزانية المائية

يعتمد حساب عناصر الميزانية المائية على رقم منحني التربة لنموذج NRCS-CN الذي يرتبط بأنواع الغطاءات الأرضية التي تشكل مساحة التصريف للحوض المائي وعلى مساحة التغطية لكل نوع من أنواع الغطاءات هذه الغطاءات بالنسبة لإجمالي مساحة الحوض المائي. ولقد تم حساب منحني التربة الموزون لأحواض أودية المياه وسدير ووراط باستخدام التوزيع النسبي لأنواع الغطاءات الأرضية بكل حوض مائي (الجدول 6).

ومن خلال بيانات الجدول 6 يتضح أن رقم منحى التربة الموزون هو 72.0 بحوض وادي المياه و 85.4 بحوض وادي سدير و 85.0 بحوض وادي وراط. ويتضح تدني رقم منحى التربة الموزون لحوض وادي المياه مقارنة بحوضي وادي سدير ووادي وراط الذي يرتبط بكبير مساحة

الجدول 6 : التوزيع المكاني النسبي لأنواع الغطاءات الأرضية بالأحواض المدروسة

الحوض	رمز الغطاء الأرضي	نوع الغطاء الأرضي	مساحة التغطية (كم ²)	% من مساحة الحوض	رقم منحى التربة CN	رقم منحى التربة الموزون CNw
حوض وادي المياه 883.4 كم ²	Pp	سهل صخري مجوى عميق التربة	15.0	1.7	77	1.3
	GI	مراوح رسوبية ومنحدرات سفلية	19.4	2.2	86	1.9
	Ds	منحدرات شديدة التحديد	57.4	6.5	88	5.6
	Pr	سهل صخري مجوى ضحل التربة	294.2	33.3	85	28.3
	Ap	سهل رسوبي	370.1	41.9	55	23.0
	Dg	سهل معرى	106.0	12.0	88	10.6
	Sa	سهل رسوبي تعلوه طبقة رملية	21.2	2.4	55	1.3
رقم المنحى للحوض المائي 72.0						
حوض وادي وراط 461.0 كم ²	Ap	سهل رسوبي	30.0	6.5	55	3.6
	Dg	سهل معرى	15.2	3.3	88	2.9
	GI	مراوح رسوبية ومنحدرات سفلية	58.5	12.7	86	10.9
	HI	تلال وبروزات صخرية	11.1	2.4	63.5	1.5
	Ds	منحدرات شديدة التحديد	346.2	75.1	88	66.2
رقم المنحى للحوض المائي 85.0						
حوض وادي سدير 455.6 كم ²	Ap	سهل رسوبي	30.5	6.7	55	3.7
	GI	مراوح رسوبية ومنحدرات سفلية	27.3	6.0	86	5.2
	HI	تلال وبروزات صخرية	5.0	1.1	63.5	0.7
	Ds	منحدرات شديدة التحديد	287.0	63.0	88	55.5
	Dg	سهل معرى	104.3	22.9	88	20.1
	Pp	سهل صخري مجوى عميق التربة	1.4	0.3	77	0.2
رقم المنحى للحوض المائي 85.4						

التصريف لهذا الحوض مع اتساع تربة السهل الرسوبي بها. ولقد تم استخدام رقم منحى التربة الموزون في حساب الطاقة القصوى لاحتفاظ التربة بالماء (S) ومعامل الاستخلاص الأولي (I_a). ولحساب متوسط الأمطار اليومية القصوى لمساحة التصريف لكل حوض مائي تم تطبيق طريقة مضلعات تيسن Thiessen polygons method (الشكل 2 والجدول 7).

الجدول 7 : متوسط الأمطار الموزون لأحواض التصريف المدروسة

المتوسط الموزون للحوض المائي (ملم)	المحطات المطرية				متوسط الأمطار (ملم)	الحوض المائي
	شقراء	ثادق	حوة سدبر	المجمعة		
27.6	28.6	24.9	27.7	27.5	التغطية (كم ²)	وادي المياه
	---	---	568.3	315.1	% مساحة التغطية	
	---	---	17.8	9.8	المتوسط الموزون	
27.7	28.8	16.1	394.0	18.8	التغطية (كم ²)	وادي سدبر
	5.9	3.5	86.5	4.1	% مساحة التغطية	
	1.7	0.9	24.0	1.1	المتوسط الموزون	
27.5	59.7	54.2	347.1	---	التغطية (كم ²)	وادي وراط
	11.8	11.8	75.3	---	% مساحة التغطية	
	2.9	2.9	20.9	---	المتوسط الموزون	

بعد ذلك تم تقدير المتوسط اليومي للتبخر-نتح بتطبيق نموذج هارقريفز-سماني الذي أعطى النتائج التالية : (الجدول 8)

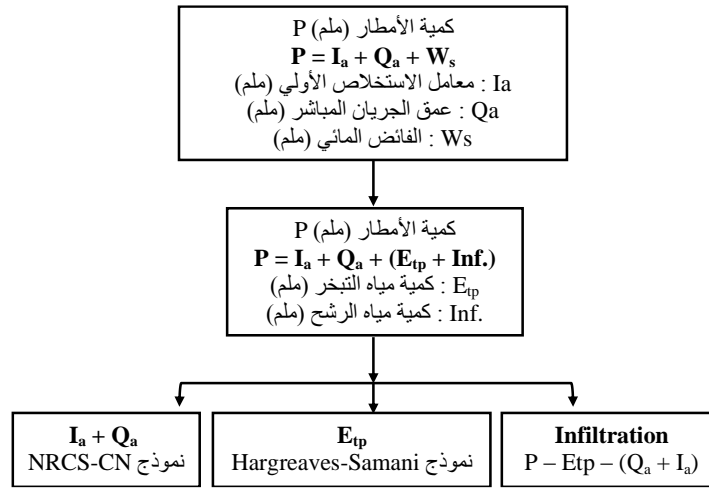
الجدول 8 : حساب المتوسط اليومي للتبخر-نتح للفترة 1985-2017 بمحطة مطار الملك خالد بالرياض

كمية التبخر-نتح (ملم)	الاشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي (MJ/m ² /day)	درجة الحرارة (°م)			الشهر
		المتوسط	القصى	الدنيا	
E _{tp} (mm)	R _a	المتوسط	القصى	الدنيا	
6.4	24.2	13.7	20.4	7.2	يناير
8.3	28.3	16.4	23.3	9.4	فبراير
11.1	33.3	20.7	27.7	13.6	مارس
14.5	37.5	26.2	33.4	18.7	أبريل
18.1	39.8	32.1	39.5	23.8	مايو
20.2	40.5	34.8	42.5	25.5	يونيو
20.4	40.0	36.0	43.8	26.8	يوليو
19.5	38.2	35.9	43.7	26.7	أغسطس
16.5	34.2	32.5	40.6	23.2	سبتمبر
12.6	29.6	27.3	35.5	18.5	أكتوبر
8.3	25.0	20.3	27.5	13.2	نوفمبر
6.4	22.9	15.2	22.1	8.6	ديسمبر

ولقد تم حساب المتوسط اليومي للتبخر-نتح باستخدام بيانات الفترة الممتدة من أكتوبر إلى مايو وهو 10.7 ملم/يوم، وهي فترة الهطول المطري أو فترة تساقط الأمطار المحتملة.

3-4- تحليل الميزانية المائية

تتشكل المنظومة المائية للحوض المائي من منظومتين فرعيتين متكاملتين هما المنظومة الماسية السطحية التي تتشكل من عمليات الهطول المطري والتبخر والجريان السطحي والمنظومة المائية الجوفية التي تحتزن مياه الجريان الجوفي ويرتبط حجم مياهها بالخصائص البيئوجرافية (الصخرية) للتكوينات الجيولوجية التي تحتويها. وترتبط المنظومتان بواسطة عملية الرشح التي تنتج عن نظام تساقط الأمطار وخصائص توزيعها (الشكل 4).



الشكل 4 : مركبات الميزانية المائية للمنظومة المائية السطحية للحوض المائي

وتستعرض هذه الدراسة تقدير وتحليل الميزانية المائية للمنظومة المائية السطحية بالاعتماد على التوظيف المتكامل لنموذج تقدير مركبة الجريان السطحي NRCS-CN ونموذج هارقريفز-سماني لتقدير مركبة التبخر. ولقد تم تطبيق النموذجين في حساب المتوسط اليومي لمركبات الميزانية المائية باستخدام كميات الأمطار اليومية القصوى للفترة 1985-2017 وكذلك في تحليل التغيرات السنوية لمركبات الميزانية المائية للفترة المذكورة.

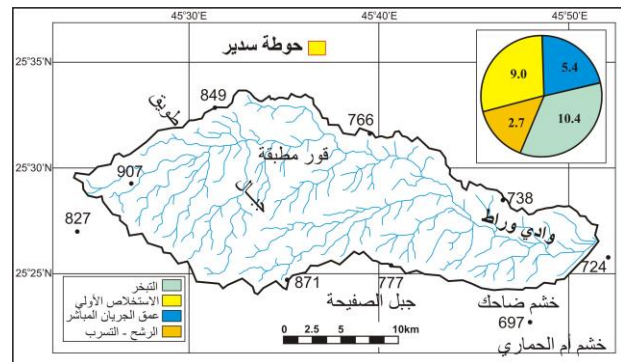
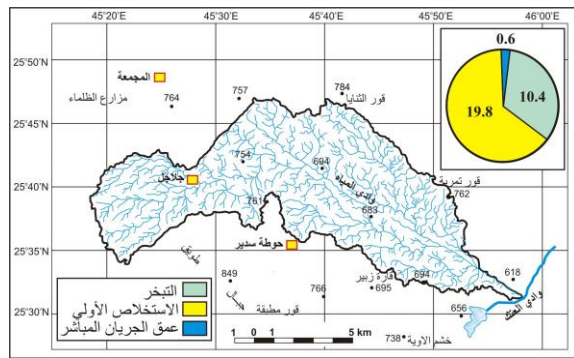
(1)- المتوسط اليومي للميزانية المائية

يستعرض الجدول 9 المتوسط اليومي لمركبات الميزانية المائية بأحواض أودية المياه وسدير ووراط خلال الفترة 1985-2017. ومن خلال بيانات هذا الجدول يتضح أن مركبة الهطول المطري متجانسة بمحطات المجمع وحوطة سدير وشقراء وثادق المطرية. ونتيجة لذلك فإن المتوسط اليومي الموزون للأمطار اليومية القصوى اتسم بالتجانس أيضاً بالأحواض الثلاثة. في حين نجد أن منحني التربة الموزون متجانس بحوضي وادي سدير ووادي وراط نظراً لتمائل الغطاءات الأرضية بهما من جهة وتقارب مساحتي تصريفهما من جهة ثانية بالإضافة إلى نسبة المنحدرات شديدة التخديد التي شكلت بهما على التوالي 63.0% و 75.2% من إجمالي مساحة التصريف. وعلى عكس من ذلك نجد أن منحني التربة الموزون لحوض وادي المياه تأثر بزيادة امتداد مساحة التصريف وبتوسع

السهل الرسوبي والسهل الصخري المجوى ضحل التربة للذين شكلا على التوالي 41.9% و 33.3% ، أي ما يعادل 75.2% من إجمالي مساحة التصريف (الجدول 6).

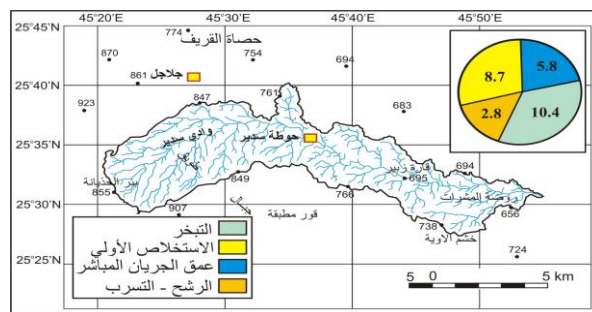
وعليه فإن مركبات الميزانية المائية اختلفت بحوض وادي المياه عن مثيلتها بحوضي وادي سدير ووادي وراط (الشكل 5). وبالتالي نجد أن الطاقة القصوى بلغت 98.8 ملم/يوم بحوض وادي المياه في حين لم تتعد 43.4 ملم/يوم و 44.8 ملم/يوم بحوضي وادي سدير ووادي وراط على التوالي. ولقد أدى هذا الاختلاف إلى تباين معامل الاستخلاص الأولي الذي يمثل العتبة المطرية التي

المركبات	الرمز	حوض وادي المياه	حوض وادي سدير	حوض وادي وراط
المتوسط اليومي الموزون لأمطار (ملم)	P _{jw}	27.6	27.7	27.5
منحنى التربة الموزون	CN _w	72.0	85.4	85.0
الطاقة القصوى لاحتفاظ التربة بالماء (ملم)	S	98.8	43.4	44.8
كمية الاستخلاص الأولي (ملم)	I _a	19.8	8.7	9.0
عمق الجريان السطحي (ملم)	Q _a	0.6	5.8	5.4
الفائض المائي (ملم)	W _s	27.0	21.9	22.1
كمية مياه التبخر (ملم)	E _{tp}	10.4	10.4	10.4
كمية مياه الرشح (ملم)	Inf	0.0	2.8	2.7
معامل الجريان السطحي (%)	% Ce	2.1	20.9	19.7
معامل الرشح (%)	% Inf.	0.0	10.2	9.9
معامل التبخر (%)	% E _{tp}	37.7	37.5	37.8
معامل الفائض المائي (%)	% W _s	97.9	79.1	80.3
معامل الاستخلاص الأولي (%)	% I _a	71.6	31.4	32.6



الشكل 5 ب : مركبات الميزانية المائية لحوض وادي المياه

الشكل 5 أ : مركبات الميزانية المائية لحوض وادي وراط



عندها الجريان السطحي، بحيث أن أية كمية من الأمطار تساوي أو تقل عن هذا المعامل لا تستطيع أن تولد جرياناً سطحياً بالحوض المائي. وعله فقد بلغ هذا المعامل 19.8 ملم/يوم بحوض وادي المياه ولم يتعد 8.7 ملم/يوم بحوض وادي سدير و 9.0 ملم/يوم بحوض وادي وراط. وكما يتضح فإن الطاقة القصوى لاحتفاظ تربة حوض وادي المياه ومعامل الاستخلاص الأولي به يفوقان بما يعادل 2.2 مرة مثليهما بحوض وادي سدير ووادي وراط. ويشكل معامل الاستخلاص الأولي 71.6% من متوسط الأمطار اليومية القصوى للفترة المدروسة بحوض وادي المياه، في حين تتعدى نسبته 31.4% و 32.6% من متوسط الأمطار اليومية القصوى بحوضي وادي سدير ووادي وراط. ولقد أدى تباين الطاقة القصوى لاحتفاظ التربة بالمياه ومعامل الاستخلاص الأولي إلى وجود تباين واضح في عمق الجريان السطحي بالأحواض المدروسة، بحيث لم يتعد هذا العمق 1 ملم/يوم بحوض وادي المياه بينما بلغ 5.8 ملم/يوم و 5.4 ملم/يوم بحوضي وادي سدير ووادي وراط على التوالي، أي أن عمق الجريان السطحي لهذين الحوضين يفوق بأكثر من 5 مرات نظيره بحوض وادي المياه. ولا يشكل عمق الجريان السطحي إلا 2.1% من متوسط الأمطار اليومية القصوى لحوض وادي المياه، في حين يشكل 20.7% و 19.7% من متوسط أمطار حوضي سدير و وراط على التوالي. ولقد أدت هذه الظروف إلى انعدام فرص الرشح بحوض وادي المياه من كميات الأمطار التي تساوي أو تقل عن متوسط الفترة 2017-1985 لأن الفرق بين الاستخلاص الأولي والفائض المائي من مياه الأمطار الذي يمثل الفرق بين مياه الأمطار وعمق الجريان السطحي يقل عن كمية التبخر، في حين تراوح متوسط الرشح المناسب لمتوسط الأمطار اليومية القصوى للفترة المذكورة بين 2 و 3 ملم/يوم بحوضي وادي سدير ووادي وراط. ولا تمثل كمية مياه سوى 10.2% و 9.9% من متوسط الأمطار اليومية القصوى بحوضي وادي سدير ووادي وراط على التوالي.

(2)- التغيرات السنوية للميزانية المائية

تبعاً لما تمت الإشارة إليه في تحليل المتوسط اليومي لمركبات الميزانية المائية، نجد أن التغيرات السنوية لهذه المركبات اتسمت خلال الفترة 2017-1985 بكميات مطرية يومية قصوى تراوحت بين 8.0 و 79.8 ملم/يوم بمحطة حوطة سدير وبين 3.0 و 58.0 ملم/يوم بمحطة المجمع وبين 8.0 و 92.2 ملم/يوم بمحطة شقراء وبين 2.0 و 99.9 ملم/يوم بمحطة ثادق. وعليه تراوح متوسط الأمطار اليومية القصوى الموزون بين 8.7 و 69.9 ملم/يوم بحوض وادي المياه وبين 8.6 و 75.8 ملم/يوم بحوض وادي سدير وبين 9.2 و 71.9 ملم/يوم بحوض وادي وراط. وبلغ المجموع التراكمي للأمطار اليومية القصوى التي تفوق المتوسط 479.8 ملم بحوض وادي المياه و 473.8 ملم بحوض وادي سدير و 370.1 ملم بحوض وادي وراط، أي ما يعادل نسبة قدرها على التوالي 52.6% و 52.0% و 40.8% من المجموع التراكمي لكميات الأمطار اليومية القصوى للفترة 2017-1985. كما نجد أن المجموع التراكمي للأمطار اليومية القصوى التي تفوق معامل الاستخلاص الأولي بلغ 791.8 ملم بحوض وادي المياه و 903.2 ملم بحوض وادي سدير و 906.4 ملم بحوض وادي وراط، أي أن 86.9% من كميات الأمطار اليومية القصوى للفترة المدروسة لها القدرة على توليد جريان سطحي بحوض وادي المياه، في حين أن جميع كميات

الأمطار اليومية القصوى لحوض وادي سدير عدا كمية الأمطار القصوى لسنة 2011 وجميع كميات الأمطار اليومية القصوى لحوض وادي وراط تفوق معامل الاستخلاص الأولي ولها القدرة على توليد جريان سطحي بهما.

وتراوح عمق الجريان السطحي المباشر بين 0.1 و 16.9 ملم/يوم بحوض وادي المياه بينما لم تتمكن الأمطار اليومية القصوى لمجموع 6 سنوات من توليد جريان سطحي. وعليه لم يتعد المجموع التراكمي لعمق الجريان السطحي المباشر 54.7 ملم، أي ما يعادل نسبة 6.0% من المجموع التراكمي للأمطار اليومية القصوى خلال فترة 33 سنة المدروسة. كما تراوح عمق الجريان السطحي المباشر بين 0.6 و 40.8 ملم/يوم بحوض وادي سدير. وعليه بلغ المجموع التراكمي لعمق الجريان السطحي 231.6 ملم، أي ما يعادل نسبة قدرها 25.4% من المجموع التراكمي للأمطار اليومية القصوى للفترة المدروسة. في حين تراوح عمق الجريان السطحي المباشر بين 0.7 و 36.8 ملم/يوم بحوض وادي وراط. وعليه بلغ المجموع التراكمي لعمق الجريان السطحي 219.5 ملم، أي ما يعادل نسبة قدرها 24.2% من المجموع التراكمي للأمطار اليومية القصوى للفترة المدروسة. وتجدر الإشارة إلى أن الأمطار اليومية القصوى لسنتي 2012 و 2017 لم تتمكن من توليد جريان سطحي بحوضي وادي سدير ووادي وراط.

ومن ما تقدم نجد أن الفائض المائي الناتج من حاصل الفرق بين كمية الأمطار من جهة ومجموع معامل الاستخلاص الأولي وعمق الجريان السطحي المباشر من جهة ثانية تراوح بين 1.8 و 33.2 ملم/يوم بحوض وادي المياه وبين 1.4 و 26.4 ملم/يوم بحوض وادي سدير وبين 0.3 و 26.2 ملم/يوم بحوض وادي وراط، بمجموع تراكمي بلغ على التوالي 235.3 ملم و 393.7 ملم و 391.1 ملم. ويمثل هذا المجموع التراكمي سبباً قدرها أيضاً على التوالي 25.8% و 43.2% و 43.1% من المجموع التراكمي للأمطار.

ولقد أدت مختلف العلاقات بين مركبات الميزانية المائية المذكورة إلى إنتاج كميات من مياه الرشح خلال السنوات التي تجاوزت فيها كميات الفائض المائي كميات التبخر. وتتراوح كميات مياه الرشح بين 1.2 و 23.0 ملم/يوم بحوض وادي المياه وبين 0.3 و 16.2 ملم/يوم بحوض وادي سدير وبين 0.2 و 16.0 ملم/يوم بحوض وادي وراط، بمجموع تراكمي بلغ على التوالي 75.3 ملم و 105.1 ملم و 104.1 ملم. ويمثل هذا المجموع التراكمي نسباً قدرها على التوالي 8.3% و 11.6% و 11.5% من المجموع التراكمي للأمطار. وتجدر الإشارة إلى أن كميات مياه الرشح نتجت من كميات الأمطار اليومية القصوى التي أنتجت فائضاً مائياً أكبر من كمية التبخر خلال 8 سنوات بحوض وادي المياه وخلال 14 سنة بحوضي وادي سدير ووادي وراط.

الخلاصة

لقد ساعد توفر بيانات الأمطار اليومية القصوى للفترة 1985-2017 بمجموع 4 محطات مطرية تابعة لوزارة الزراعة والمياه والبيئة ، منها محطة حوطة سدير التي تتوسط أحواض رواد أودية المياه وسدير ووراط روافد وادي العتك و3 محطات مطرية محيطة بها على تقدير وتحليل عناصر الميزانية المائية بالأحواض المذكورة بواسطة التوظيف المتكامل لنموذج NRCS-CN وخريطة الموارد الأرضية التي أصدرتها وزارة الزراعة في عام 1994 والمعادلات التجريبية لتقدير التبخر الكامن.

ولقد توصلت هذه الدراسة إلى تحديد جملة من الخصائص الإحصائية للبيانات المطرية للفترة 1985-2017 كشفت عن تجانس متوسط الأمطار اليومية القصوى على مستوى أحواض التصريف المدروسة. وبالرغم من هذا التجانس إلا أن هناك تباين في قيم رقم منحني التربة الموزون الذي بلغ 72.0 و 85.4 و 85.0. ويرتبط رقم منحني التربة بتباين الغطاءات الأرضية من التربة التي يشكلها بالأساس السهل الصخري والسهل الرسوبي بحوض وادي المياه والنددرات شديدة التخديد بحوضي وادي سدير ووراط. ولقد صاحب هذه التباينات تباين في الطاقة القصوى لاحتفاظ التربة بالماء التي بلغت على التوالي 98.8 ملم/يوم و 43.4 ملم/يوم و 44.8 ملم/يوم بأحواض أودية المياه وسدير ووراط على التوالي. وبلغ ومعامل الاستخلاص الأولي المناسب لهذه الطاقة أيضاً على التوالي بلغ 19.8 ملم/يوم و 8.7 ملم/يوم و 9.0 ملم/يوم. ولقد تباين هذه المركبات إلى تباين عمق الجريان السطحي المباشر بحيث لم يتعد 0.6 ملم/يوم بحوض وادي المياه و 5.8 ملم/يوم بحوض وادي سدير و 5.4 ملم/يوم بحوض وادي وراط.

ولقد تبين أن حوض وادي المياه هو أقل الأحواض المدروسة قدرة على توليد الجريان السطحي ومياه الرشح نتيجة امتداد الغطاءات الأرضية للسهل الصخري المجوى ضحل التربة على مساحة 294.2 كم² والسهل الرسوبي على مساحة 370.1 كم² التي تتسم بضعف نفاذيتها للمياه. ومن جهة أخرى اتضح أن حوض وادي سدير ووراط يتسمان بتجانس خصائصهما المتكاملة وقدرتهما الكبيرة على توليد الجريان السطحي ومياه الرشح بنسبة بلغت على التوالي 25.4% و 24.2% من كمية الأمطار اليومية القصوى للفترة 1985-2017.

التوصيات:

- إجراء المزيد من الدراسات الهيدرولوجية المتكاملة لمعرفة عناصر الموازنة المائية بدقة لأحواض وروافد الأودية الكبيرة بالمملكة العربية السعودية لتحديد الكميات المتاحة من المصادر السطحية والجوفية وتقييم الطلب والحاجة لها من حيث الشرب أو الزراعة.
- وضع الآليات والتدابير المناسبة لاستثمار الموارد المائية في أحواض الأودية الكبيرة بما يضمن منع تلوثها أو إستنزافها.
- النظر بعين الاعتبار في إقامة السدود على جميع الأودية الرئيسية أو في جميع الأحواض بعد إجراء دراسات جدوى جيدة عليها.
- وحيث أن المملكة تعاني من الفقر المائي، لذا لا بد من العمل الجاد على وضع سياسة مائية شاملة للأودية المهمة وروافدها المائية في كافة مناطق المملكة لتحقيق التوازن بين ما هو موجود لمجابهة الطلب المائي الحالي والمستقبلي.

- المتابعة الدقيقة ورصد ما يجري دولياً في مجال التقنيات والتشريعات المائية تمهيداً لاتخاذ الإجراءات الوطنية الكفيلة بترشيد استهلاك المياه للمحافظة عليها للأجيال القادمة بإذن الله تعالى.

المراجع

أ- المراجع العربية

- الخريطة الطبوغرافية 250000/1 ، لوحة الجمعية ، Sheet NG38-11 ، طبعة 1-SA-ASD ، وزارة البترول والثروة المعدنية ، إدارة المساحة الجوية ، الرياض.
- خريطة الموارد الأرضية 500000/1 ، لوحة رقم 30 ، وزارة الزراعة ، 1994 ، الرياض.
- بوروبه ، محمد فضيل (2007) : معايرة قيم نماذج حساب التبخر- نتح بواسطة حوض التبخر نوع "أ" بمنطقة عسير في المملكة العربية السعودية ، مجلة دراسات الخليج والجزيرة العربية ، العدد 134 ، مجلس النشر العلمي ، جامعة الكويت ، ص ص 127-200.
- جاسم ، وليد أسمر ؛ حمدون ، هاني محمد (2014) : مقارنة بين نموذجي Penman-Monteith وحوض التبخر في تخمين التبخر- نتح المرجعي في مناطق مختلفة من العراق ، المجلة الأردنية للفيزياء ، المجلد (7) ، العدد 1 : 43-52.
- حشر ، فهدة بنت فلاح فيصل (2007) : خصائص الأمطار والتبخر وتطبيقاتها على الميزانية المائية والقيمة الفعلية للأمطار في شمالي المملكة العربية السعودية : دراسة في المناخ التطبيقي، رسالة دكتوراه غير منشورة ، قسم الجغرافيا ، كلية التربية (الأقسام الأدبية) بالرياض.
- زيتون ، محمد (2016) : تحليل الموازنة المائية للتربة في شمال الأردن للفترة 1970-2009 ، مجلة أبحاث العلوم الطبيعية ، المجلد (30) : 205-232.
- كنجو ، علي ؛ إبراهيم ، جهاد ؛ زينة ، ربيع ؛ حسون ، نيفين (2016) : دراسة إمكانية استخدام طريقة الحوض نوع "أ" وبعض الصبغ المبسطة في تقدير التبخر- نتح الكامن في منطقة اللاذقية ، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية ، سلسلة العلوم البيولوجية ، العدد (6) : 215-231.
- قسم المياه (1988) : أطلس مناخ المملكة العربية السعودية، وزارة الزراعة والمياه، المملكة العربية السعودية، الرياض.

- نتوف، قاسم خالد ؛ أغا، واثق رسول (2013): طرائق حساب مركبات الميزان المائي وتطبيقها على منطقة قطنا في حوض دمشق المائي، مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية، المجلد (24)، العدد الثاني : 561-591.
- البياتي ، عدنان هزاع (1985) : مناخ محافظات العراق الحدودية الشرقية ، رسالة ماجستير غير منشورة ، كلية الآداب ، جامعة بغداد ، العراق .
- الجبوري ، رجاء خليل أحمد (2002) : الموازنة المائية المناخية للمنطقة المتموجة في العراق : دراسة في المناخ التطبيقي ، رسالة ماجستير غير منشورة ، كلية التربية للبنات ، جامعة بغداد ، العراق .
- الجراش ، محمد عبد الله (1992) : أنموذج لتقدير المتوسط الشهري لكمية التبخر في المملكة العربية السعودية مقارنة بأنموذجي Penman و Ivanov ، مجلة جامعة الملك عبد العزيز ، الآداب والعلوم الانسانية ، مجلد (5) : 75-101.
- السمني ، محمد عوض السيد (2013) : الموازنة المائية وتوزيع الأراضي الزراعية بشبه جزيرة سيناء : دراسة في جغرافية المناخ التطبيقي ، مجلة الانسانيات ، العدد (41) : 507-552.
- الشلش ، علي حسن (1976) : القيمة الفعلية للأمطار وأثرها في تحديد الأقاليم النباتية في العراق ، مجلة كلية الآداب ، العدد 1 ، جامعة البصرة .
- الطاهر ، عبد الله أحمد سعد (1998) : تقدير التبخر الشهري في المملكة العربية السعودية ، سلسلة رسائل جغرافية ، العدد 213 ، الجمعية الجغرافية الكويتية ، جامعة الكويت .
- القصاب ، نافع ناصر (1985) : أقاليم الزراعة المطرية لمحصول الحنطة والشعير في العراق في ظل المعايير المناخية ، مجلة الجمعية الجغرافية العراقية ، المجلد (16) ، جامعة بغداد .
- العمري، ناصر سليمان (2013): دراسة مقارنة لطرق تقدير البخر-نتح للمنطقة الوسطى والشرقية في المملكة العربية السعودية باستخدام العديد من النماذج المناخية، مجلة جامعة الملك عبد العزيز : علوم الارصاد والبيئة وزراعة المناطق الجافة، المجلد (24)، العدد الثاني : 121-142.
- الغشيان ، هيفاء عبد الله حسن (1999) : التبخر والميزانية المائية في المملكة العربية السعودية ، رسالة ما جستير غير منشورة ، قسم الجغرافيا ، كلية الآداب ، جامعة الملك سعود ، الرياض .
- المنظمة العربية للتنمية الزراعية (1977) : المناخ الزراعي في الوطن العربي (المملكة العربية السعودية)، الخرطوم .
- الموسوي ، صالح عاتي ؛ كتاب ، عماد راتب (2016) : أثر المناخ في تقدير الاحتياجات المائية لمشروع الجبوعية في محافظة بابل ، مجلة القادسية للعلوم الانسانية ، المجلد (19) ، العدد 2 : 177-213.

ب- المراجع الأجنبية

- Allen, R.G. ; Pereira, L. ; Raes, D. and Smith, M. (1998): Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirement, FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, Italy : Food and Agriculture Organization.
- Al Saaran, N. (1999) : Temporal and spatial variability of potential evapotranspiration in Saudi Arabia, *Journal of the Gulf and Arabian Peninsula Studies*, Vol. **XXIV**, no. 92 : 229-245.
- Blaney, H.F. and Criddle, W.D. (1945) : Determining water requirement in irrigation areas from climatological and irrigation data , Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture , Technical Paper 96, February, 48 pages.
- Bouchet, R.J. (1961): Signification et portée agronomique de l'évapotranspiration potentielle, *Annales Agronomiques*, Vol. (**12**), No. 1: 51-63.
- Brochet, P. et Gerbier, N. (1972): Une méthode pratique de calcul de évapotranspiration potentielle, *Annales Agronomiques*, Vol. (**23**), No. 1 : 31-49.
- Garcia, J. and Lopez, J. (1970) : Formula for evaporation calculation adapted to Tropical zone, *Agronomia Tropical* (**20**) , 5 : 335-345.
- Hargreaves, G.H. and Samani, Z.A. (1985) : Estimation of potential evapotranspiration , *Journal of Irrigation and Drainage Division, Proceedings of the American Society Civil Engineers* (**108**) : 223-230.
- Holdridge, L.R. (1972) : Simple method for determining potential evapotranspiration from temperature data, *Science* (**130**) , 3375 : 572.
- International Association of Hydrological Sciences (IAHS) and United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (UNESCO) and World Meteorological Organization (WMO). (1972) : World water balance, Proceedings of Reading Symposium, July 1970, 3 vol., Genterbrugge: IAHS/UNAESCO/WMO, Belgium
- Ivanov, N.N. (1954) : **Ob opredelen Verlichiny Isparyaemosti**, *Izvesta Vsesoyuznogo Obshchestva*, Tom **86**, vyy. 2, Mart-Apray.
- Jensen, M. E. and Haise, H. R. (1963): Estimation of Evapotranspiration from Solar Radiation, *Journal of Irrigation and Drainage Division, Proc. Amer. Soc. Civil Eng.* **89**, 15-41.

- Makkink, G. F. (1957): Testing the Penman Formula by Means of Lysimeters, *J. Instit. Water Engineers* **11**, 277–288.
- Mockus, V. (1949). **Estimation of total (peak rates of) surface runoff for individual storms**. Exhibit A of Appendix B, Interim Survey Rep. Washington, DC: Grand (Neosho) River Watershed, USDA.
- Musgrave, G.W. (1955). **How much of the rain enters the soil?**, Yearbook of agriculture 1955: water. Washington, DC: USDA.
- Penman, H. L. (1948): Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass, *Proc., Royal Soc., London* **193**, 120–145.
- Sherman, L.K. (1949). **Stream flow from rainfall by the unit graph method**. *Engineering News Record*, 108 : 501-505.
- Sokolov, A.A. and Chapman, T.G. (1974) : Methods for water balance computation , *Studies and Reports in Hydrology*, Vol. (17) , UNESCO, Paris.
- Sorman, A.U. and Abdulrazzak, M.J. (1995) : Estimation of actual evaporation using precipitation and soil moisture records in arid climates , *Hydrological Processes Journal*, Vol. (9) : 729-741.
- Turc, L. (1961) : Evaluation des besoins en eau d’irrigation, évapotranspiration potentielle, *Annales Agronomiques* 12 (1) : 13-50.
- Thornthwaite, C.W. (1948) : An Approach toward a Rational Classification of Climate, *Geographical Review*, Vol. **38**, pp. 55-94.
- Valset D. ; Brosse, J.M. ; Breton, J-P. ; Manivit, J. ; LeStrat, P. ; Fourniguet, J. and Shorbaji, H. (1988) : Geologic map of Shaqrã’ quadrangle, 1/250000, Sheet 25H, Deputy for mineral resources, Ministry of petroleum and mineral resources.
- Woodward, D.E.; Hawkins, R.H.; Hjelmfelt, A.T.Jr.; Van Mullem, J.A. and Quan, D.Q. (2002). **Curve number method: Origins, applications and limitations**, Second Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference, Las Vegas, NV, 1-10. From website: www.wcc.nrcs.usda.gov/water/quality/common/techpapers/curve.html. Accessed in October 2002.