



تقدير الميزانية المائية لمنطقة مكة المكرمة

د. أمل بنت حسين آل مشيط

قسم الجغرافيا - كلية العلوم الانسانية
جامعة الملك خالد - المملكة العربية السعودية

Access this article online

Quick Response Code:



Website: <https://uqu.edu.sa/jss>

E-mail: jss@uqu.edu.sa

Table of Contents - Current issue:

<https://uq.sa/x6wwOu>

© Umm Al-Qura University of Social Sciences Vol.11 Issue No.2 April 2019

Under Legal Deposit No. ISSN: 1658- 4619

تقدير الميزانية المائية لمنطقة مكة المكرمة

د. أمل بنت حسين آل مشيط

الملخص:

أوضحت هذه الدراسة إمكانية حساب الميزانية المائية بتطبيق نموذج NRCS-CN التابع للهيئة الأمريكية لحماية التربة باستخدام بيانات الأمطار اليومية القصوى للفترة ١٩٧٦-٢٠١١م بخمس محطات مطرية هي جدة المديرية والليث (التضاريس الساحلية) والشفا (التضاريس الجبلية) والبرزة والفائجة (تضاريس الهضاب) تقع بمنطقة مكة المكرمة. ولقد أعطى تطبيق هذا النموذج نتائج هامة في تقدير أقصى طاقة لإحتفاظ التربة بالماء (S) الذي بلغ ٧٦,٧ ملم والمناسب لمختلف التكوينات الصخرية التي تشكل غطاءات الأرض ولرقم منحني موزون $CN = 76.8$. ولقد أعطى هذا التقدير كمية من الفاقد المائي (Ia) بلغت ١٥,٣ ملم تم استخدامها في تقدير الفائض المائي المناسب لمختلف كميات الأمطار اليومية القصوى المسجلة خلال الفترة المدروسة. وقد تراوحت قيم متوسط الفائض المائي بين ١٣,٦ ملم/يوم بمحطة جدة و ٣٣,٢ ملم/يوم بمحطة الشفا.

كما اعتمدت هذه الدراسة أيضاً على تطبيق نموذجي تورنثوايت Thornthwaite وتورك Turc في تقدير كمية التبخر الكامن لاستخدامه في استخلاص كميات التسرب بجميع المحطات المدروسة. ويمكن تطبيق الخطوات المنهجية لهذا البحث في تقدير الميزانية المائية على مستوى أحواض التصريف لأودية منطقة مكة المكرمة للوصول إلى تحديد كميات الأمطار التي لها القدرة على توليد السيول الغزيرة بما تحدثه من خطورة على المناطق السكنية والعمرانية.

الكلمات المفتاحية: نموذج المنحنى NRCS-CN، الأمطار اليومية القصوى، الفائض المائي، الفاقد المائي، التبخر، التسرب، الجريان المباشر، مكة المكرمة، المملكة العربية السعودية.

Assessment of water balance in Mekkah Al Mukarramah region

Dr. Amal Hussain Al Mushayt

Abstract:

This study showed the possibility of computing the water balance by the NRCS-CN model using the daily maximum rainfall data for the period 1976-2011 of five rainfall stations Jeddah Directorate, Laith (Coastal relief), El Shifa (Mountainous relief), Al-Barza and Al-Fa'ija (Plateau relief), located in the Mecca Al Mukarrama region. The application of this model has yielded significant results in estimating of 76.7 mm as the soil potential maximum retention of rainfall at the beginning of the storm (S), suitable for the different rock formations of the earth cover land and the weighted curve number $W_{CN} = 76.8$.

estimate gave an amount of 15.3 mm as the initial abstraction (I_a) which was used to estimate the water surplus corresponding to the each daily maximum rainfall recorded during the studied period. The average water surplus is ranged between 13.6 mm/day at Jeddah station and 33.2 mm/day at El Shifa station.

Also, The present study used the Thornthwaite and Turc models in estimating the amount of the potential evapotranspiration to at all rainfall studied stations. The method-

ological steps of this study can be applied in estimating the water balance of the drainage basins in the Mecca Al Mukarrama region in order to determine the excess rainfall can generating many floods, which will cause serious danger to residential and urban areas.

Key-Words: NRCS-CN curve model, Maximum daily rainfall, Water surplus, Initial abstraction, Evaporation, Infiltration, direct runoff, Makkah Al Mukarrama, Saudi Arabia.

المقدمة:

يتزايد الاهتمام بمرور الوقت بالموارد المائية السطحية في بلدان العالم مع زيادة الاستهلاك اليومي والطلب متعدد المصادر في مختلف المجالات. ويتضاعف هذا الاهتمام أكثر بالبلدان الواقعة ضمن النطاقات المناخية الجافة وشبه الجافة كما هو الحال بالنسبة للمملكة العربية السعودية. ويتطلب تحديد حجم الطلب على الموارد المائية معرفة مصادرها وتحليل نظمها البيئية للتحكم والاستفادة منها ومن ثم استثمارها في مختلف المجالات. وترتبط الموارد المائية السطحية بشكل مباشر بنظام تساقط الأمطار وبفترات هطولها. ويوفر نظام تساقط الأمطار بالمملكة العربية السعودية موارد مائية سطحية هائلة صارت مصدر خطر على المناطق العمرانية بما تسبب فيه من جريان سيلبي غزير ومركز في الزمان والمكان يستوجب تحليل الميزانية المائية لمعرفة عتبات الفائض المائي للأمطار الذي يتحول إلى جريان سطحي مباشر. ويتزايد حجم الموارد المائية السطحية بالمناطق الغربية من المملكة مع الارتفاع التدريجي لمعدلات الأمطار كلما اتجهنا غرباً وكلما ارتفعنا نحو التضاريس الجبلية. وتعتبر منطقة مكة المكرمة بموقعها الجغرافي وتضاريسها الجبلية من المناطق التي تتسم بمعدلات مطرية كافية لتوفير موارد مائية سطحية نتيجة تكرار حدوث الجريان السيلبي أو السطحي المباشر من فترة لأخرى. ويمكن الاستفادة من هذه الموارد السطحية في مختلف المجالات مع زيادة الطلب على المياه بسبب الزيادة السكانية من جهة ومع تنوع المشاريع التنموية التي تشهدها منطقة مكة المكرمة.

ويمثل تقدير الميزانية المائية أحد أهم الطرق العلمية (المناخية والهيدرولوجية) التي يعتمد عليها تحليل وفهم نظامي تساقط وتوزيع الأمطار ومدى قدرتها على توفير موارد مائية سطحية تجري بها الأودية أو تحتزنها التربة لتغذية المياه الجوفية. وفي هذا الإطار تأتي هذه الدراسة لتقييم عناصر الميزانية بمنطقة مكة المكرمة باستخدام بيانات الأمطار للفترة ١٩٧٦-٢٠١١م المسجلة بخمس محطات مطرية تابعة لوزارة المياه والكهرباء وهي البرزة (J239) والفائجة (J131) اللتين تمثلان تضاريس الهضاب وجدة المديرية (J134) التي تمثل التضاريس الساحلية الشمالية والليث (J108) التي تمثل التضاريس الساحلية الجنوبية والشفا (TA109) التي تمثل التضاريس الجبلية.

١- أهمية الدراسة وأهدافها:

تتطلب دراسة الموارد المائية السطحية بالمناطق الجافة وشبه الجافة كما هو الحال بالنسبة لمنطقة مكة المكرمة بغرب المملكة العربية السعودية ذات المناخ الصحراوي المداري تحديد عناصر الميزانية المائية التي تؤثر بشكل مباشر في امكانية تحويل الأمطار إلى فائض مائي يولد جرياناً سطحياً مباشراً. ولذا يعتبر تقدير عناصر الميزانية المائية من أهم الطرق العلمية التي تساعد على تقييم الموارد المائية السطحية التي ترتبط في تبايناتها وتغيراتها بنظام تساقط الأمطار المتذبذب وبخصائص نفاذية سطح الأرض. كما تتأثر قدرة سطح الأرض وكميات الأمطار المتساقطة عليها بالظروف المناخية في المناطق الصحراوية والجافة خاصة ارتفاع درجة الحرارة وكميات التبخر. ولذا يسمح تقدير عناصر الجريان السطحي بمعرفة وتحديد الفترات التي يحدث خلالها فائض مطري بإمكانه أن يؤدي إلى ظهور جريان سيلبي أو جريان سطحي عادي أو تسرب باطني ضمن الدورة الهيدرولوجية (المائية). وفي هذا الإطار تكمن أهمية هذه الدراسة التي تسعى إلى تقدير الجريان السطحي لمنطقة مكة المكرمة اعتماداً على كميات الأمطار اليومية القصوى للفترة ١٩٧٦-٢٠١١ بخمس محطات مطرية متنوعة تمثل التنوع التضاريسي الذي تتسم به منطقة مكة المكرمة.

ولتحقيق أهداف هذه الدراسة تم استخدام:

١- نموذج NRCS-CN التابع للهيئة الأمريكية لحماية التربة لكفاءته ودقته وقدرته في تقدير عناصر الميزانية المائية المتمثلة في الفاقد المائي والفائض المائي والجريان المباشر بتطبيق بعض المعادلات وبعض الطرق الإحصائية ذات العلاقة.

٢- كما ساعد أيضاً تطبيق نموذجي تورنثوايت Thornthwaite وتورك Turc على تقدير المتوسط اليومي للتبخر الكامن باستخدام البيانات المناخية لمحطتي مكة المكرمة وجدة التابعتين للرئاسة العامة للارصاد وحماية البيئة. ولقد تم استخدام هذا المتوسط في استخلاص متوسط كميات التسرب.

كما تكمن أهمية هذه الدراسة في امكانية تطبيق خطواتها المنهجية في تقدير الميزانية المائية لباقي مناطق المملكة وأيضاً في تقدير الجريان السطحي على مستوى أحواض التصريف لأودية منطقة مكة المكرمة ومناطق المملكة الأخرى للوصول إلى تحديد كميات الأمطار التي لها القدرة على توليد السيول الغزيرة بما تحدته من خطورة على المناطق السكنية والعمرانية.

٢- الموقع الجغرافي والفلكي:

تحتل منطقة مكة المكرمة وسط الجزء الغربي من المملكة العربية السعودية بين دائرتي العرض $18^{\circ}06'$ و $24^{\circ}00'$ شمالاً وبين خطي الطول $38^{\circ}38'$ و $43^{\circ}42'$ شرقاً. ويحدها من الشمال منطقة المدينة المنورة ومن الشرق منطقة الرياض ومن الغرب ساحل البحر الأحمر ومن الجنوب منطقتا الباحة عسير (الشكل ١).

وتمتد منطقة مكة المكرمة من غرب هضبة نجد شرقاً حتى خط الساحل للبحر الأحمر غرباً ومن جبال الهضبة وهضبة رهط شمالاً حتى جنوب جبال الحجاز جنوباً على مساحة تقدر بحوالي 137.000 كم^٢ (هيئة المساحة الجيولوجية، ٢٠١٢م: ١٤).



الشكل ١: الموقع الجغرافي والفلكي لمنطقة مكة المكرمة

المصدر: عمل الباحثة بالاعتماد على خريطة المناطق الإدارية لهيئة المساحة الجيولوجية السعودية، مقياس ١/٤٠٠٠٠٠٠، الطبعة الأولى، ١٤٢٥ هـ (٢٠٠٤م).

٣- البنية الجيولوجية والتكوينات الصخرية:

تقع معظم تضاريس منطقة مكة المكرمة عموماً ضمن تشكيلات الدرع العربي المكون من الصخور القديمة التي تشكلها بالأساس صخور ما قبل الكامبري التي تتنوع بين الصخور المتحولة والصخور الجوفية الاندساسية والصخور الجرانيتية (الشكل ٢).

ويمكننا تلخيص التكوينات الجيولوجية لمنطقة مكة المكرمة في مجموعتين أساسيتين من الصخور هما:

١- رسوبات الزمن الرباعي **Quaternary deposits**:

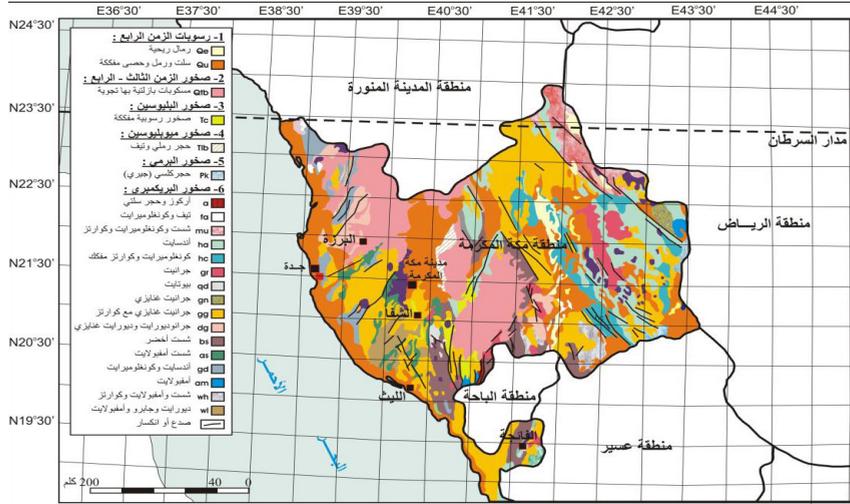
تتشكل الصخور الرسوبية من مجموعة من الرواسب الريفية ورواسب الأودية والمدرجات الحصوية الرباعية وفرشات ريفية مغطاة بوشائح حصوية. وتغطي الرسوبات الرباعية والحديثة بطون الأودية الرئيسة ومجري روافدها الرئيسة وهي تتنوع إلى رواسب المنحدرات (Talus Deposits) المتجمعة في الأجزاء السفلية من المنكشفات الصخرية وتشكل من ركامات صخرية مفككة ورواسب الأودية الحصوية والطينية المختلطة بالرمل الخشن والناعم. وتتنوع أحجام هذه الرواسب بين خشنة في أعلى الأودية إلى دقيقة وناعمة في أسفل الأودية وبالرسوبيات المروحية وبالكتبان الرملية.

٢- صخور القاعدة (صخور المعقدات) **Complex rocks**:

تنكشف صخور القاعدة على مساحات واسعة من منطقة مكة المكرمة تتبع زمنياً لحقب ما قبل الكامبري. وتتواجد صخور القاعدة القديمة في مكونات عديدة أهمها مكونات الوجيد (Pk) وعبلة (a) وفاطمة (fa) ومردمة (mu) وحلبان (ha-hc) وبيش (bs-as) وجدة (gd) وشست حلي (wh) ومعقد الليث (wl).

وتنكشف مكونات ما قبل الكامبري المتطبقة التي تشكلت نتيجة تحول الصخور البركانية والفتاتية النارية (Moore & Rehaili, 1989). وتتنوع تراكيبيها من البازلت إلى الرايولايت بالإضافة إلى بعض رسوبيات الزمن الرباعي والرسوبيات الحديثة أيضاً (الشكل ٢).

تقدير الميزانية المائية لمنطقة مكة المكرمة



الشكل ٢ : الخريطة الجيولوجية لمنطقة مكة المكرمة

المصدر: عمل الباحثة بتصريف عن Geologic map of the Arabian Peninsula, وزارة البترول والثروة المعدنية، ١٩٦٣.

وهناك الكثير من المتداخلات القاعدية والحامضية كتلية الشكل قليلة التورق ومحلية التحول؛ توجد في مناطق متفرقة أهمها جرانيت مكة المكرمة. وهذه الأخيرة عبارة عن متداخلات نارية تكون سفوحاً جبلية متآكلة صخورها مشوهة تشوهاً كبيراً ومتحولة في أجزاء منها.

وتخترق التتابعات الصخرية الرسوبية والبركانية القديمة، العديد من القواطع الرأسية المتباينة في تركيبها الكيميائي والمعدني؛ وهذه المتداخلات النارية القاعدية لها علاقة بطفوح الغنايز.

وتتسم التكوينات الصخرية لمنطقة مكة المكرمة ببنية جيولوجية معقدة، بحيث تظهر الخريطة الجيولوجية للجزيرة العربية تركز معظم الصدوع بأنواعها في القسمين الشرقي والغربي بالإضافة إلى الجزء الجنوبي الغربي من منطقة مكة المكرمة. وتتراوح أطوال الصدوع العادية بين ٨ و ٢٢ كم، وتأخذ في مجملها اتجاهها رئيساً شمالياً غربياً - جنوبياً شرقياً. أما الصدوع العكسية فتأخذ الاتجاه الشمالي الشرقي - الجنوبي الغربي وتتراوح أطوالها بين ٢,٥ و ١٥٠ كم.

ويرتبط بحركة الصدوع والانكسارات التي مرت بها تكوينات الدرع العربي خلال الأزمنة الجيولوجية القديمة تشكيل مجموعة كبيرة من الأودية التي تغطيها ترسبات الحصى والرمل.

٤ - الخصائص التضاريسية:

تعتبر معظم تضاريس منطقة مكة المكرمة جزءاً من تضاريس الدرع العربي الجبلية. ويمكن تقسيم هذه التضاريس إلى أربع مجموعات رئيسية هي:

- المرتفعات الجبلية:

تشكل معظم المرتفعات الجبلية من صخور الالفا البركانية للحرث وهي أهم المعالم التضاريسية التي تشكلت بمنطقة مكة المكرمة. وتعتبر هذه المرتفعات الجبلية جزءاً من غطاءات الالفا البركانية التي تشكلت خلال الميوسين الأوسط Middle Miocene (الوليبي، ١٩٩٦: ١٥٠). وتظهر حرث منطقة مكة المكرمة على الخريطة الجيولوجية للجزيرة العربية ضمن صخور الزمنين الثالث والرابع المشكلة من المسكوبات البازلتية التي أصابتها التجوية والتعرية. ومن أهم الحرث الممتدة بمنطقة مكة المكرمة:

أ- حرث رهط التي ترتفع إلى ١٧٦٣م عند جبل زار شمالاً وتمتد الأطراف الجنوبية لهذه الحرث إلى الحدود الشمالية لمنطقة مكة المكرمة حتى تشرف على المدينة المقدسة.

ب- حرث كَشَب التي ترتفع إلى ١٥٤٦م وهي تقع إلى الشرق من الأطراف الجنوبية لحرث رهط وهي من عصري البلايستوسين Pleistocene والهولوسين Holocene على الأرجح (الوليبي، ١٩٩٦: ١٥٨). وتحد الأطراف الجنوبية لهذه الحرث الرسوبات السطحية النهرية لسهل ركة عند الحدود الشمالية لمنطقة مكة المكرمة.

ج- حرث حَضَن التي تقع في منطقة سهلية شرق مدينة الطائف وجنوب حرث كَشَب على ارتفاعات تصل إلى ١٤٢٣م. وقد تعرضت هذه الحرث إلى عمليات التعرية التي ساعدت على ظهور مصادر التدفقات البازلتية على طول حوافها الغربية والجنوبية والشمالية. (Wolfart, 1961: 110).

د- حرة النواصف والبقوم التي تمتد باتجاه شمالي شرقي في جنوب شرق حرة حضن على ارتفاعات تصل إلى ١٦٤٧ م وهي تتسم باستواء سطحها وتجانس مظهره. ويبلغ متوسط عمر هذه الحرة حوالي ٥ مليون سنة (الوليحي، ١٩٩٦: ١٦٠).

ومن أشهر جبال منطقة مكة المكرمة:

- **جبل النور:** الذي يضم غار حراء مهبط الوحي. ويبلغ ارتفاع هذا الجبل ٦٤٢ متراً ومساحته حوالي ٢٥٢٥٠ م².
- **جبل ثور:** أحد جبال وسط مكة ويضم غار ثور الذي يبلغ ارتفاع قمته ٧٥٠ متراً، ويمتد من الشمال إلى الجنوب على مسافة ٤١٢٣ متراً.
- **جبل خندمة:** أحد جبال مكة يقع في الجهة الجنوبية الشرقية من المسجد الحرام يرتفع حتى ٤٢٠ م.
- **جبل عرفة:** أحد جبال مكة يقع على بعد ٢٠ كيلومتر شرق مدينة مكة المكرمة.
- **جبل أبي قبيس:** الذي يقع في الجهة الشرقية من المسجد الحرام على ارتفاع حوالي ٤٢٠ م.
- **جبل قعيقعان:** يُسمى أيضاً «جبل قرن»، يقع في الجهة الغربية من المسجد الحرام، على ارتفاع حوالي ٤٣٠ م.
- **جبل الطارقي:** الذي يقع في شرق مشعر منى على ارتفاع ٩٠٠ م وهو أعلى قمة في جبال مدينة مكة المكرمة.

- السهول:

هناك نوعان من التضاريس السهلية بمنطقة مكة المكرمة هي السهول الساحلية والسهول الداخلية. وتعتبر السهول الساحلية جزءاً من سهول تامة الرسوبية التي تغطيها الرمال الريفية والجروال التي جلبتها الأودية من الجبال. ويتخلل سطح السهول الساحلية كتل جرانيتية لا تتجاوز ارتفاعاتها ١٠٠ م. أما السهول الداخلية فهي عبارة عن مناطق منخفضة محدودة غطتها الرسوبات النهرية الرباعية وأهمها سهل ركة الذي يتشكل من

السلت والرمل والحصى المفككة. ويمتد هذا السهل من الشمال إلى الجنوب بين حرتي حزن شرقاً وحره رهط غرباً على ارتفاعات تفوق ١٠٠٠م.

- الكثبان الرملية:

هي عبارة عن تجمعات من الغطاءات الرملية التي تترسب بالمناطق ذات التضاريس المنخفضة المحصورة بالحافات الجبلية أو التي توضع في الأحواض الرسوبية الواسعة.

ويرى Holm أن الجاذبية لعبت دوراً أساسياً في تشكيل مناطق الكثبان الرملية وفي تراكم الرمال مشابه لدور الرياح (Holm, 1960). ومن أشهر الكثبان الرملية بمنطقة مكة المكرمة عروق سبيع الواقعة بأقصى شرقها. وهي عبارة عن تجمعات رملية تحد شرق منطقة مكة المكرمة محصورة بين صخور الاندسايت والكونغولوميرايت المفككة التابعة لتكوين حلبان. وتمتد هذه العروق على شكل قوس مدبب الأطراف بالشمال والجنوب وامتسع بالوسط شرقاً ويرتفع سطحه حتى ١١٩٥م عند جبل القرمصية.

- الأودية:

تشكلت بمنطقة مكة المكرمة شبكة كبيرة من الأودية خلال الفترات المطيرة التي مرت بها شبه الجزيرة العربية. وتجري هذه الأودية بشكل عام من المنحدرات الغربية لهضبة نجد المتبلورة الواقعة شرقاً نحو سهل تهامة الساحلي غرباً. وتمتد مجاري هذه الأودية متوازية تقريباً وأهمها من الجنوب إلى الشمال وادي رنية ووادي كرا ووادي تربة ووادي بيده ووادي حلية ووادي الليث ووادي يللم ووادي ملكان ووادي عرنة ووادي فاطمة.

٥- الخصائص المناخية:

تقع منطقة مكة المكرمة ضمن نطاق المناخ الصحراوي الجاف وفقاً لتقسيم كوبن Köppen. ولذا يعتبر مناخ منطقة مكة المكرمة قارياً جافاً وحاراً خلال فصل الصيف بسبب تعامد أشعة الشمس على مدار السرطان الذي يمر بأقصى حدودها الشمالية ومعتمداً خلال فصل الشتاء مع هبوب رياح باردة بسبب تعرض المنطقة لتأثيرات الضغط

الجوي الأسيوي المرتفع. وتتأثر عناصر المناخ بمنطقة مكة المكرمة بالموقع الجغرافي والفلكي وبالتضاريس (الجدول ١).

الجدول ١: المتوسطات الشهرية لبعض عناصر المناخ خلال الفترة ١٩٨٥-٢٠١٠م بمحطتي مكة المكرمة وجدة

الشهر	محطة مكة				محطة جدة			
	الحرارة (مئوية)	الرطوبة (%)	الرياح (كلم/ساعة)	الأمطار (ملم)	الحرارة (مئوية)	الرطوبة (%)	الرياح (كلم/ساعة)	الأمطار (ملم)
يناير	٢٤.٢	٥٨	٥٥.٦	٢٠.٨	٢٣.٢	٦٠	٧٠.٤	٩.٩
فبراير	٢٤.٧	٥٤	٦٣.٠	٣.٣	٢٣.٤	٦٠	٦٣.٠	٣.٧
مارس	٢٧.٣	٤٨	٦٦.٧	٥.٥	٢٥.١	٦٠	٩٢.٦	٢.٩
أبريل	٣١.٠	٤٣	٥٠.٠	١٠.٣	٢٨.٠	٥٧	٧٤.١	٢.٨
مايو	٣٤.٣	٣٦	٥٥.٦	١.٢	٣٠.٢	٥٦	٦٤.٨	٠.٢
يونيو	٣٥.٨	٣٣	٤٨.٢	٠.٠	٣١.٢	٥٨	٥٧.٤	٠.٠
يوليو	٣٥.٩	٣٤	٥٥.٦	١.٤	٣٢.٧	٥٣	٥٥.٦	٠.٣
أغسطس	٣٥.٧	٣٩	٦٤.٨	٥.٠	٣٢.٧	٥٩	٦٣.٠	٠.٥
سبتمبر	٣٥.٠	٤٥	٦٦.٧	٥.٤	٢١.٥	٦٧	٥٥.٦	٠.١
أكتوبر	٣٢.٢	٥٠	٨٣.٣	١٤.٥	٢٩.٨	٦٦	٧٤.١	١.١
نوفمبر	٢٨.٤	٥٨	٥٥.٦	٢٢.٦	٢٧.٤	٦٥	٧٧.٨	٢٦.٤
ديسمبر	٢٥.٦	٥٩	٥٥.٦	٢١.١	٢٤.٩	٦٣	٨١.٥	١٣.٣

ومن خلال بيانات الجدول ١ يتضح أن المتوسطات الشهرية لدرجات الحرارة والأمطار تتزايد من المنطقة الساحلية (محطة جدة) باتجاه المناطق الجبلية (محطة مكة)، بحيث نجد أن متوسطات درجات الحرارة ترتفع من ٢٣,٢ م° إلى ٢٤,٠ م° خلال شهر يناير ومن ٣١,٢ م° إلى ٣٥,٩ م° خلال شهر يوليو بمحطتي جدة ومكة المكرمة على التوالي. وكذلك يرتفع المعدل السنوي للأمطار من ٦١,٢ ملم بمتوسطات شهرية تتراوح

بين ٠,٣ ملم خلال شهر يوليو و٢٦,٤ ملم خلال شهر نوفمبر بمحطة جدة إلى ١١٠,٨ ملم ملم بمتوسطات شهرية تتراوح بين ١,٢ ملم خلال شهر مايو و٢٢,٦ ملم خلال شهر نوفمبر بمحطة مكة المكرمة.

وعلى العكس من المتوسطات الشهرية لدرجات الحرارة والأمطار تتناقص المتوسطات الشهرية للرطوبة النسبية وسرعة الرياح كلما اتجهنا من المناطق الساحلية نحو المناطق الجبلية، بحيث تتراوح المتوسطات الشهرية للرطوبة النسبية بين ٣٣٪ خلال شهر يونيو و٥٩٪ خلال شهر ديسمبر بمحطة مكة المكرمة وبين ٥٣٪ خلال شهر يوليو و٦٧٪ خلال شهر سبتمبر بمحطة جدة. كما يرتفع معدل سرعة الرياح من ٦٠ كم/ساعة بمحطة مكة المكرمة إلى ٦٩,١ كم/ساعة بمحطة جدة.

وتؤثر هذه التباينات الزمنية والمكانية لعناصر المناخ المذكورة على التوزيع المكاني للتبخر الذي يعتبر أحد أهم عناصر الميزانية المائية.

٦- الدراسات السابقة:

تعتمد الدراسات السابقة المناخية والهيدرولوجية في تحديد عناصر الميزانية المائية على العديد من العوامل المقاسة أو المحسوبة. وهناك العديد من الدراسات الهيدرولوجية والمناخية التي تناولت موضوع الميزانية المائية بأحواض التصريف أو بالأقاليم الجغرافية الجافة أو شبه الجافة بالوطن العربي. ومن الدراسات التي عالجت تقييم الموازنة المائية على مستوى المملكة العربية نذكر:

- دراسة (المديهم، ٢٠٠١) بعنوان «الميزانية المائية لحوض وادي حنيفة» التي اعتمدت على خريطة خطوط التساوي لمتوسط أمطار الفترة ١٦٩٤-١٩٨٨ في تقدير حجم التساقط الذي بلغ ٤٠٥,٧ م/كم^٢ بمعدل سنوي للأمطار قدره ٨٨,٣ ملم على مساحة التصريف لحوض وادي حنيفة (٤٥٩٠ كم^٢). كما تم تقدير المتوسط الشهري للتبخر-نتح بواسطة نموذج Jensen-Haise بحوالي ٢٠٩,٩ ملم في حين تم تقدير متوسط حجم الجريان السطحي بحوالي ٥ ٪ من متوسط حجم التساقط السنوي، أي ما يعادل ٢٠,٣ مليون م^٣ سنوياً.

- دراسة (البارودي، ١٩٨٦) بعنوان «الميزانية المائية لحوض وادي فاطمة» التي أظهرت أن هذا الحوض يتسم بمعدل تساقط يبلغ ١٥٦ ملم/سنة ينتج عنه حجم تساقط يصل إلى ٦٦٧,٦ مليون م^٣/سنة وجريان سطحي يمثل ٢٪ من كمية الأمطار بالمنطقة الشرقية من الحوض و ٥ إلى ٦٪ من الأمطار بالمنطقة الغربية منه، أي ما يعادل حوالي ١٣,٤ مليون م^٣/سنة و ٤٠,٠ مليون م^٣/سنة بالمنطقتين على التوالي.

ومن الدراسات العربية الأخرى نذكر:

- دراسة (السمي، ٢٠١٣) بعنوان «الموازنة المائية وتوزيع الأراضي الزراعية بشبه جزيرة سيناء: دراسة في جغرافية المناخ التطبيقي» التي اعتمدت على المعدلات المناخية للفترة ١٩٨٠-٢٠٠٠ بتسع محطات ارساد جوي وباستخدام برنامج تورنثوايت Thorntwaite الصادر عن هيئة المساحة الأمريكية USGS. ولقد تبين من خلال هذه الدراسة أن هناك تباين في التوزيع المكاني لنطاقات العجز المائي خلال فصلي الصيف والخريف، بحيث تعد منطقة شرم الشيخ/الطور- رأس محمد أكثر النطاقات عجزاً في المياه وفي رطوبة التربة. كما أن العجز المائي يسود منطقة الدراسة طوال العام، عدا منطقة رفح.

- دراسة (حسين وأحمد، ٢٠٠٨) بعنوان «حساب الموازنة المائية في الصحراء الغربية (العراق)» التي اعتمدت على بيانات ستة عناصر مناخية للفترة ١٩٨٠-٢٠٠٠ بسبع محطات أظهرت وجود فائض مائي بما يعادل ٣,٧ ملم خلال شهر سباط (فبراير) ووجود توازن مائي بين كميات الأمطار والتبخر خلال شهري كانون الأول (ديسمبر) وكانون الثاني (يناير)، في حين تتسم بقية شهور السنة الأخرى بعجز مائي يتراوح بين ٧,٦ ملم خلال شهر آذار (مارس) و ٣٦٦,٨ ملم خلال شهر تموز (يوليو).

كما تعددت الدراسات العربية الخاصة بالموازنة المائية بمختلف مناطق الوطن العربي منها دراسة (موسى، ١٩٧٦) بعنوان «أقاليم الكفاية المائية بسورية» ودراسة (حليمي، ١٩٧٧) بعنوان «الموازنة المائية في الجزائر» ودراسة (الجراس، ١٩٨٨) بعنوان «الميزان المائي المناخي في المملكة العربية السعودية» ودراسة (عطا، ٢٠٠١) بعنوان «التبخر والموازنة المائية في الأحساء بالمملكة العربية السعودية» ودراسة (عطا، ٢٠٠٥) بعنوان «التبخر والموازنة

المائية في أهما بالمملكة العربية السعودية» وغيرها.

ومن الدراسات الأجنبية التي تناولت تقييم وتحليل الميزانية المائية في مختلف مناطق العالم نذكر على سبيل المثال لا الحصر:

- دراسة (Cohen وآخرين، ٢٠٠١) بعنوان "A preliminary water balance for the Colorado River Data"، التي قام فيها بتحليل الميزانية المائية للفترة ١٩٩٢-١٩٩٨ لحوض نهر كولورادو الممتد على الأراضي بين المكسيك والولايات المتحدة الأمريكية والتي توصل فيها إلى تحديد فترة للفائض المائي وفترة للعجز المائي خلال السنة الهيدرولوجية. ولقد أظهرت هذه الدراسة مدى قدرة الفائض المائي لحوض نهر كولورادو في توليد السيول والفيضانات المتكررة بجريان غزير يتجاوز يومياً ١٠٠ م^٣/ثانية يساعد على ري الأراضي الزراعية على مساحات واسعة كما حدث خلال فيضان يوم ٢١ فبراير ١٩٩٧.

- دراسة (Deus، ٢٠١٣) بعنوان "Water balance modeling in a semi-arid environment with limited In situ Data using Remote Sensing in Lake Manyara, East African Rift, Tanzania"، التي تناولت الميزانية بالبيئات شبه الجافة باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد في دراسة حالة بحيرة مانيارا بتنزانيا (شرق إفريقيا) والتي أظهرت انخفاض الميزانية المائية بعد سنة ٢٠٠٢ ثم ارتفاعها من جديد خلال سنة ٢٠٠٦-٢٠٠٧ بسبب تأثيرات ثنائي القطب للمحيط الهندي.

- دراسة (Sentelhas وآخرين، ٢٠٠٨) بعنوان "Water deficit and Water surplus maps for Brazil, based on FAO – Penman Monteith potential evapotranspiration"، التي تناولت تقدير الفائض المائي والعجز المائي باستخدام كميات التبخر نتح الكامن في مختلف أقاليم البرازيل.

وهناك الكثير من الدراسات السابقة التي تناولت دراسة وتحليل الميزانية المائية لا يمكن التطرق لها على مستوى هذا البحث. ومن ما تقدم يتبين أن هذه الدراسة تختلف عن الدراسات السابقة للميزانية المائية في كونها تستخدم نموذج NRCS-CN في تقدير مختلف عناصر الميزانية بمنطقة مكة المكرمة.

٧- منهجية الدراسة:

تتلخص الخطوات المنهجية لحساب الجريان السطحي في ما يلي:

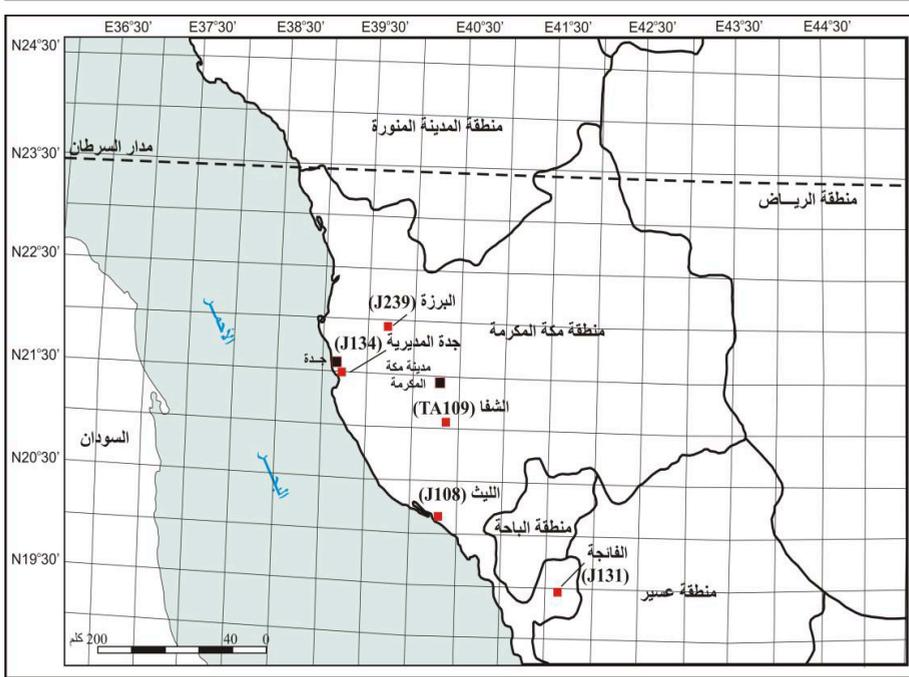
١- اختيار المحطات المطرية وجمع بيانات الأمطار:

الجدول ٢: إحداثيات مواقع المحطات المدروسة

اسم المحطة	رقم الحاسب	الرقم الوطني للمحطة	خط الطول (شرقا)	دائرة العرض (شمالا)	الارتفاع (متر)
البرزة	290	J239	39°41'	21°58'	350
جدة المديرية	248	J134	39°12'	21°30'	11
الشفا	738	TA109	40°22'	21°04'	2141
الليث	224	J108	40°17'	20°09'	6
الفائجة	246	J131	1°37'	19°28'	370

تتناول هذه الدراسة حساب الميزانية المائية لمنطقة مكة المكرمة باستخدام بيانات الأمطار في خمس محطات مطرية تابعة لوزارة الكهرباء والمياه هي البرزة (J239) وجدة المديرية (J134) والشفا (TA109) والليث (J108) والفائجة (J131) (الجدول ٢) و(الشكل ٣). وتحتوي هذه المحطات على سلسلة زمنية لكميات الأمطار اليومية القصوى لفترة ٤٠ سنة منتظمة ومشاركة تمتد من ١ يناير ١٩٧٦ إلى ٣١ ديسمبر ٢٠١١ (الجدول ٣ و ٤ و ٥ و ٦ و ٧).

د. أمل بنت حسين آل مشيط



الشكل ٣: مواقع محطات المطرية المدروسة

المصدر: عمل الباحثة بالاعتماد على خريطة المناطق الإدارية لهيئة المساحة الجيولوجية السعودية، مقياس ١/٤٠٠٠٠٠٠، الطبعة الأولى، ١٤٢٥ هـ (٢٠٠٤ م).

الجدول ٣: كميات الأمطار اليومية القصوى

للفترة ١٩٧٦-٢٠١١ م بمحطة البرزة

الشهر	اليوم	الأمطار (مم)	السنة	الشهر	اليوم	الأمطار (مم)	السنة
أكتوبر	٢٨	١٧,٢	١٩٩٥	أكتوبر	٥	٢٨,٦	١٩٧٦
يناير	١٠	٤,٠	١٩٩٦	ديسمبر	١٣	٣٧,٢	١٩٧٧
يناير	١٥	٣٠,٢	١٩٩٧	فبراير	١٧	١٦,٤	١٩٧٨
مارس	٢١	١,٠	١٩٩٨	يناير	١٥	٥٥,٤	١٩٧٩
ديسمبر	١٥	١٣,٢	١٩٩٩	نوفمبر	٢٥	١٨,٦	١٩٨٠
نوفمبر	٢١	١٨,٨	٢٠٠٠	مارس	٢٥	١٣,٨	١٩٨١
أكتوبر	٢٧	١٣,٨	٢٠٠١	أكتوبر	١٩	٤٣,٦	١٩٨٢
مارس	١٦	١٦,٨	٢٠٠٢	يناير	٢٣	٤,٠	١٩٨٣
نوفمبر	٣٠	١٤,٥	٢٠٠٣	سبتمبر	٢٠	٣٠,٠	١٩٨٤
يناير	٢٨	٢,٠	٢٠٠٤	ديسمبر	١٨	٥٠,٩	١٩٨٥
يناير	٢٢	٠,٠	٢٠٠٥	يونيو	٢٥	٤٠,٠	١٩٨٦
ابريل	٩	٢,٠	٢٠٠٦	مارس	٨	٥٨,٦	١٩٨٧
فبراير	٤	٧,٩	٢٠٠٧	نوفمبر	٤	٣٧,٦	١٩٨٨
نوفمبر	٥	١٣,٤	٢٠٠٨	ديسمبر	٢٦	٤٥,٦	١٩٨٩
ديسمبر	٢٢	١٢,٠	٢٠٠٩	ابريل	٢٥	٦,٤	١٩٩٠
فبراير	١٣	١٥,٠	٢٠١٠	ديسمبر	٩	٢٨,٦	١٩٩١
يناير	١٤	٣٥,٠	٢٠١١	نوفمبر	١٣	٤٣,٠	١٩٩٢
٢٢,٣	المتوسط			سبتمبر	١٧	٨,٤	١٩٩٣
١٦,٥	الانحراف المعياري			سبتمبر	٢٨	١٧,٦	١٩٩٤

الجدول ٤: كميات الأمطار اليومية القصوى

للفترة ١٩٧٦-٢٠١١ م بمحطة جدة المديرية

الشهر	اليوم	الأمطار (مم)	السنة	الشهر	اليوم	الأمطار (مم)	السنة
فبراير	١٤	١٧,٤	١٩٩٥	مايو	١٥	٦,٠	١٩٧٦
نوفمبر	١٨	٤٦,٥	١٩٩٦	يناير	٢٧	٥,٥	١٩٧٧
أكتوبر	١٨	٥٢,٠	١٩٩٧	فبراير	١٥	٤٦,٢	١٩٧٨
يناير	٨	٢٧,٣	١٩٩٨	يناير	١٦	٧٢,٨	١٩٧٩
يناير	٨	٢١,٠	١٩٩٩	نوفمبر	٢٥	٢٣,٤	١٩٨٠
نوفمبر	١٣	٢٤,٥	٢٠٠٠	مارس	٢٥	١٧,٤	١٩٨١
ديسمبر	٣١	٥١,٢	٢٠٠١	أكتوبر	١٩	٥٤,٩	١٩٨٢
نوفمبر	٣٠	٢٩,٠	٢٠٠٢	يناير	٢٣	٥,٠	١٩٨٣
نوفمبر	٣٠	١٨,٤	٢٠٠٣	نوفمبر	٢٥	٣,٧	١٩٨٤
ديسمبر	٣	٢٠,٠	٢٠٠٤	نوفمبر	١٨	٤٩,٨	١٩٨٥
يناير	٢٢	٢٥,٠	٢٠٠٥	نوفمبر	٣٠	١,٠	١٩٨٦
أكتوبر	٢٩	٢٥,٠	٢٠٠٦	ديسمبر	٥	٢١,٠	١٩٨٧
فبراير	٤	١٠,٠	٢٠٠٧	ديسمبر	٧	١٧,٤	١٩٨٨
نوفمبر	٥	١٧,٠	٢٠٠٨	ديسمبر	١١	٣٠,٠	١٩٨٩
نوفمبر	٢٥	٨٠,٠	٢٠٠٩	مارس	٢٥	٨,١	١٩٩٠
ديسمبر	٣٠	٢٩,٠	٢٠١٠	سبتمبر	١٠	٣٨,٤	١٩٩١
يناير	٢٦	١٢٤,٠	٢٠١١	يناير	١٠	٣٨,٤	١٩٩٢
٣١,٢	المتوسط			ديسمبر	٢٣	١٨,٠	١٩٩٣
٢٥,٩	الانحراف المعياري			أكتوبر	٢٢	١,٠	١٩٩٤

الجدول ٥: كميات الأمطار اليومية القصوى

للفترة ١٩٧٦-٢٠١١ م بمحطة الليث

الشهر	اليوم	الأمطار (مم)	السنة	الشهر	اليوم	الأمطار (مم)	السنة
نوفمبر	٢٧	٨٨,٠	١٩٩٥	يناير	٥	٤٠,٨	١٩٧٦
نوفمبر	١٥	١٥٣,٠	١٩٩٦	ديسمبر	٣١	٢١,٥	١٩٧٧
أكتوبر	١٩	٤٧,٠	١٩٩٧	فبراير	١٧	٥٨,١	١٩٧٨
يناير	٥	٣٤,٠	١٩٩٨	ديسمبر	١٧	٦٢,٠	١٩٧٩
يناير	١٥	٩٠,٠	١٩٩٩	ديسمبر	١٦	٢,٧	١٩٨٠
نوفمبر	١٨	٢٥,٠	٢٠٠٠	مارس	١٧	٦,٣	١٩٨١
أغسطس	٣١	٢٥,٥	٢٠٠١	ديسمبر	١٨	١٣,٠	١٩٨٢
أبريل	١٠	١١,٠	٢٠٠٢	يناير	٢٤	١٩,٢	١٩٨٣
ديسمبر	٣	١٢,٠	٢٠٠٣	نوفمبر	٢٦	٥٠,٠	١٩٨٤
ديسمبر	٢٥	٣٨,٣	٢٠٠٤	يناير	٢٥	٨,٠	١٩٨٥
أبريل	٢٦	٤٧,٠	٢٠٠٥	أبريل	٢٠	٤٠,٠	١٩٨٦
مايو	١٦	١٢,٨	٢٠٠٦	مارس	٤	٣٨,٥	١٩٨٧
يناير	٢٧	٢٠,٠	٢٠٠٧	ديسمبر	٣١	٤٥,٠	١٩٨٨
نوفمبر	٢	٢٢,٠	٢٠٠٨	ديسمبر	٢٦	٣٢,٠	١٩٨٩
يناير	١٩	١٠,٠	٢٠٠٩	أبريل	٢٧	٣٩,٠	١٩٩٠
ديسمبر	٩	١٠,٠	٢٠١٠	نوفمبر	٣٠	٥,٠	١٩٩١
يناير	٢٤	٣,٠	٢٠١١	نوفمبر	٣٠	٦٠,٠	١٩٩٢
٣٤,٨	المتوسط			أبريل	١٧	٢٢,٥	١٩٩٣
٣٠,٠	الانحراف المعياري			ديسمبر	٣٠	٤٠,٠	١٩٩٤

الجدول ٦: كميات الأمطار اليومية القصوى

للفترة ١٩٧٦-٢٠١١ م محطة الفائجة

الشهر	اليوم	الأمطار (مم)	السنة	الشهر	اليوم	الأمطار (مم)	السنة
فبراير	١٥	٢٠,٠	١٩٩٥	يناير	٥	٤٨,٠	١٩٧٦
ديسمبر	٩	٦٠,٠	١٩٩٦	يناير	١٩	٣٥,٠	١٩٧٧
أكتوبر	٢٢	٣٠,٠	١٩٩٧	فبراير	١٧	٦٨,٣	١٩٧٨
يوليو	١٦	١٨,٠	١٩٩٨	ديسمبر	٢٥	٨٣,٢	١٩٧٩
يناير	١٥	١٠٥,٣	١٩٩٩	فبراير	١٠	٩٥,٥	١٩٨٠
سبتمبر	١٥	٢٥,٠	٢٠٠٠	مارس	٢٦	٢٦,٨	١٩٨١
أغسطس	٣١	٣٠,٠	٢٠٠١	فبراير	١٥	٣٠,٦	١٩٨٢
ديسمبر	٣١	٣٥,٠	٢٠٠٢	أغسطس	١٥	١٣,٢	١٩٨٣
يناير	٣	٢٠,٠	٢٠٠٣	يناير	٢٦	٢٦,٠	١٩٨٤
ديسمبر	٢٥	٤٥,٠	٢٠٠٤	مايو	١٨	٤٥,٠	١٩٨٥
أكتوبر	١٢	١٥,٠	٢٠٠٥	أبريل	٢٠	٤٧,٠	١٩٨٦
مايو	١٦	١٥,٠	٢٠٠٦	يناير	١٣	٥٠,٠	١٩٨٧
يوليو	٥	١٥,٠	٢٠٠٧	سبتمبر	٩	٢٨,٠	١٩٨٨
نوفمبر	٢	٢٥,٧	٢٠٠٨	ديسمبر	٢٦	٣٧,٤	١٩٨٩
يناير	٣١	١٢٦,٠	٢٠٠٩	أبريل	٢٧	٦٠,٠	١٩٩٠
ديسمبر	٩	١١,٧	٢٠١٠	أكتوبر	١٥	١٠,٠	١٩٩١
يناير	٢٤	٦,٠	٢٠١١	أغسطس	١٤	٣١,٠	١٩٩٢
٣٨,٧	المتوسط			أغسطس	١٤	٣٠,٠	١٩٩٣
٢٧,٧	الانحراف المعياري			أكتوبر	٢١	٢٥,٠	١٩٩٤

الجدول ٧: كميات الأمطار اليومية القصوى

للفترة ١٩٧٦-٢٠١١ م بمحطة الشفا

الشهر	اليوم	الأمطار (مم)	السنة	الشهر	اليوم	الأمطار (مم)	السنة
ابريل	٩	٥٣,٥	١٩٩٥	اكتوبر	١١	٣٨,١	١٩٧٦
نوفمبر	١٥	٥٠,٢	١٩٩٦	ديسمبر	١٣	٥٧,٣	١٩٧٧
مارس	٢٩	٢٧,٤	١٩٩٧	يوليو	١٦	٣٩,٠	١٩٧٨
يناير	٥	٦٦,٢	١٩٩٨	يناير	١٦	٦٠,٦	١٩٧٩
يناير	١٠	٥١,٠	١٩٩٩	فبراير	١٠	٢٥,٤	١٩٨٠
مايو	١٥	٤٣,٦	٢٠٠٠	مارس	٥	٦٣,٥	١٩٨١
ابريل	٢٢	٥٠,٠	٢٠٠١	فبراير	٨	٤٥,٢	١٩٨٢
يناير	٦	٣٣,٥	٢٠٠٢	مارس	١٤	٥٥,٦	١٩٨٣
سبتمبر	١٣	١٣,٠	٢٠٠٣	نوفمبر	٢٦	٣٤,٤	١٩٨٤
ديسمبر	٣	٣٠,٠	٢٠٠٤	مايو	١٥	٨٢,٥	١٩٨٥
يوليو	٢٣	٧,٥	٢٠٠٥	يونيو	٤	٢٥,٦	١٩٨٦
اكتوبر	٣	٩,٥	٢٠٠٦	مايو	٢٩	٣٩,٥	١٩٨٧
يناير	١٢	١٨,٢	٢٠٠٧	مايو	٩	٣٤,٨	١٩٨٨
نوفمبر	٦	٢٢,٣	٢٠٠٨	مارس	٢٨	٢٨,٢	١٩٨٩
اغسطس	٢٧	٣٤,٥	٢٠٠٩	مارس	٢٨	٣٨,٠	١٩٩٠
ديسمبر	٢٩	٣٠,٥	٢٠١٠	يناير	١٤	٦٢,٥	١٩٩١
مارس	١٧	٤٣,٠	٢٠١١	ديسمبر	١٥	٧٨,٣	١٩٩٢
٤١,١	المتوسط			اكتوبر	٢٣	٦٣,٨	١٩٩٣
١٨,٥	الانحراف المعياري			ديسمبر	١١	٢٢,١	١٩٩٤

٧-٢- حساب عناصر الميزانية المائية

تتلخص عناصر الميزانية المائية في المعادلة التالية:

$$P = R + (I_a) \quad (1) \text{ (Sokolov and Chapman, 1974:17)}$$

$$P = R + (Etp + \Delta S) \quad (2) \quad \text{وبالتعويض نحصل على:}$$

وفيها يمثل:

I_a : معامل الاستخلاص الأولي أو كمية الفاقد عن طريق التبخر Etp والتسرب والتخزين داخل التربة (ملم) وهي تحسب بتطبيق المعادلة التالية:

$$I_a = 0.2 S \quad (3) \text{ (USDA-TR55, 1986)}$$

بحيث يمثل S أقصى طاقة للاحتفاظ بالمياه داخل التربة ويتم حسابه بتطبيق المعادلة التالية:

$$S = (25400/CN) - 254 \quad (4) \quad \text{(USDA-TR55, 1986)}$$

وفيه يمثل CN رقم منحنى التربة Curve Number.

وبالتعويض في المعادلة (٣) نحصل على I_a يساوي:

$$I_a = Etp + \Delta S \quad (5)$$

ΔS : مقدار التغير في السعة التخزينية للتربة (ملم).

Etp : كمية التبخر (ملم).

R : كمية الفائض المائي (ملم).

وفيه:

P : كمية الأمطار المتساقطة (ملم).

I_a : كمية الفاقد عن طريق التبخر Etp والتسرب والتخزين داخل التربة (ملم).

S : أقصى طاقة للاحتفاظ بالمياه داخل التربة.

ويتم استخراج رقم المنحنى CN من جداول خاصة حسب نوعية تربة المنطقة طورها الهيئة الأمريكية لحماية التربة بعد إختبار ٨٥٠٠ نوع من التربة بمختلف مناطق العالم تم تصنيفها في أربع مجموعات هيدرولوجية هي: (USDA-SCS, 1985) و (US-DA-TR55, 1986).

- المجموعة الأولى A:

وتضم هذه المجموعة التربة الرملية Sand والتربة اللومية الرملية Loamy sand والتربة الرملية اللومية Sandy loam. وتشكل هذه المجموعة من تربة عميقة تتسم بمعدلات تسرب عالية حتى عندما تكون مشبعة بالماء وينشأ عنها جريان سطحي منخفض. وتتراوح بها سرعة التسرب بين ٢,٥ و ٢١ سم/ساعة.

- المجموعة الثانية B:

وتتشكل هذه المجموعة من التربة السلتية اللومية Silty loam والتربة اللومية Loam. وتشكل هذه المجموعة من تربة عميقة إلى متوسطة العمق ذات قوام ناعم إلى خشن وتتسم بمعدلات تسرب متوسطة خاصة عندما تكون رطبة تماماً وينشأ عنها جريان سطحي متوسط. وتتراوح بها سرعة التسرب بين ١,٣ و ٢,٥ سم/ساعة.

- المجموعة الثالثة C:

وتضم هذه المجموعة التربة الرملية الصلصالية اللومية Sandy clay loam تحتوي على طبقة تعيق حركة تسرب المياه. ولذا فهي تتسم بمعدلات تسرب منخفضة عندما تكون رطبة تماماً وهي ذات قوام ناعم إلى متوسط ينشأ عنها جريان سطحي غزير. وتتراوح بها سرعة التسرب بين ٠,٥ و ٠,٧ سم/ساعة.

- المجموعة الرابعة D:

وتضم هذه المجموعة بالأساس التربة الصلصالية Clay بالإضافة إلى التربة الصلصالية

اللومية Clay loam والتربة السلتية الصلصالية اللومية Silt clay loam والتربة الرملية الصلصالية Silty clay والتربة السلتية الصلصالية Silty clay. ويرتفع بها منسوب الماء الجوي بشكل دائم وتكون ضحلة وتتوضع فوق طبقة كتيمة أو غير نفوذة. وينتج عنها جريان سطحي عالي نظراً لأن معدلات التسرب فيها منخفضة جداً عندما تكون رطبة وهي تتراوح بين ٠,٠٥ و ٠,٢٥ سم/ساعة.

وتتحكم الحالة المسبقة لرطوبة التربة (AMS) Antecedent Moisture of Soil في رقم منحني التربة، بحيث يتم تحديد رقم هذا المنحني من الجدول الخاص الذي اقترحه أيضاً الهيئة الأمريكية لحماية التربة وهو جدول يتضمن ٣ حالات من الرطوبة المسبقة للتربة 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 الخمسة أيام التي تسبق حساب كمية الجريان السطحي (McCuen, ١٩٨٢, p. ١٣).

٧-٣- استخلاص رقم المنحني (CN) Curve Number لمنطقة مكة المكرمة:

ترتبط قيم منحني التربة CN بنوع الغطاء الأرضي وبالخصائص الهيدرولوجية وبمدى قدرتها على امتصاص مياه الأمطار. وتعكس قيم هذا المنحني مدى استجابة غطاء سطح الأرض لتساقط الأمطار وتحويلها لجريان سطحي، بحيث ترتفع قيمة رقم المنحني CN مع زيادة صماتة سطح الغطاءات الأرضية شديدة الصماتة Impervious surfaces ومع قدرتها الكبيرة على توليد جريان سطحي غزير وسريع وتندني مع زيادة نفاذية سطح هذه الغطاءات غير المصمتة Previous surfaces التي تتسم بضعف قدرتها على توليد جريان سطحي نتيجة ارتفاع الفاقد من مياه الأمطار بواسطة عملية التسرب أو التخزين الباطني لها.

وتم الحصول على رقم المنحنى CN للغطاءات الأرضية على مستوى منطقة مكة المكرمة بالاعتماد على خريطة التكوينات الصخرية المستخلصة من الخريطة الجيولوجية للجزيرة العربية Geologic map of the Arabian Peninsula بمقياس ١/٢٠٠٠٠٠٠٠ الصادرة عن وزارة البترول والثروة المعدنية خلال عام ١٩٨٧م (الشكل ٢). وباستخدام نسب مساحات الغطاءات الأرضية في الجدول ٨ تم حساب رقم المنحنى الموزون لكل غطاء أرضي للوصول إلى تحديد رقم المنحنى الموزون لإجمالي منطقة مكة المكرمة.

الجدول ٨: قيم منحنى التربة CN لمنطقة مكة المكرمة

رقم المنحنى الموزون WCN	رقم المنحنى CN للمجموعات الهيدروجيولوجية للتربة				حالة الرطوبة للتربة AMS	المساحة (%)	المساحة (كم ^٢)	نوع الغطاء الأرضي
	D	C	B	A				
١٨.٤	--	--	--	٧٦	II	٢٤,٢	٣٣١٥٤	صخور رسوبية
٦٣.٠	--	--	--	٧٧	II	٦٧,٧	٩٢٧٤٩	صخور بركانية
٦.٢	--	--	٨٦	--	II	٨,١	١١٠٩٧	صخور متحولة
٧٦.٨	--	--	--	--	II	١٠٠	١٣٧٠٠٠	المجموع

وتراوح قيم رقم المنحنى CN للحالة العادية المسبقة لرطوبة التربة التي تشكلها المجموعة الثانية للتربة (AMS II) بين صفر بالنسبة لسطح الغطاءات الأرضية غير المصمت الذي يسمح بمرور أو نفاذ مياه الأمطار من خلاله نحو باطن الأرض و ١٠٠ بالنسبة لسطح الغطاءات الأرضية الذي لا يسمح بنفاذ الماء والذي يحول كل ما يسقط عليه من مياه الأمطار إلى جريان سطحي. بينما تدل قيمة رقم المنحنى ٥٠ على نوع من التوازن بين معدلات الجريان السطحي ومعدلات المياه المتسربة من الأمطار داخل التربة (Al Ghamdi, 1991).

٨- النتائج والمناقشة:

تتلخص نتائج حساب الميزانية المائية لمنطقة مكة المكرمة في ما يلي: (الشكل ٤)

٨-١- حساب أقصى طاقة لاحتفاظ التربة بالماء (S):

بتطبيق المعادلة (٤) نجد أن أقصى طاقة لاحتفاظ التربة بالماء بلغت ٧٦,٧ ملم/يوم على مستوى منطقة مكة المكرمة.

٨-٢- حساب الاستخلاص الأولي (إجمالي الفاقد المائي) (I_a):

بتطبيق المعادلة (٣) نجد أن إجمالي الفاقد المائي بلغ على مستوى منطقة مكة المكرمة ١٥,٣ ملم/يوم. أي أن أية كمية مطر تسقط في يوم واحد تساوي أو تقل عن ١٥,٣ ملم لن ينتج عنها أي جريان سطحي بمنطقة مكة المكرمة.

٨-٣- حساب متوسط الفاقد المائي بواسطة التبخر (E_{tp}):

نظراً لعدم توفر قياسات فعلية للتبخر بمحطتي مكة المكرمة وجدة المناخيتين فقد تم حساب المتوسط الشهري للتبخر بتطبيق نموذجي تورنثوايت (Thornthwaite 1948) وتورك (Turc 1961) التاليين:

أ- حساب متوسط التبخر بنموذج تورنثوايت (Thornthwaite, 1948)

يتم حساب التبخر بنموذج تورنثوايت بتطبيق المعادلة التالية:

$$PET_i (0) = [(1.6 (10 T_i) / J)]^c \quad (6)$$

وفيها J مؤشر حراري يحسب بواسطة المعادلة التالية:

$$J = \sum_{i=1}^{12} (I_i) \quad (7)$$

و c معامل يرتبط بدرجة الحرارة ويحسب بواسطة المعادلة التالية:

$$c = 6.75 * 10^{-7} J^3 - 7.71 * 10^{-5} J^2 + 1.792 * 10^{-2} J + 0.49239$$

و I_i مؤشر حراري شهري يحسب بواسطة المعادلة التالية:

$$I_i = \left[\frac{T_i}{5} \right]^{1.514} \quad I_i = [T_i/5]^{1.514} \quad (8)$$

بعد حساب كمية التبخر يتم تصحيحها بواسطة معامل التصحيح k الذي يرتبط بدائرة العرض لموقع المحطة المناخية بتطبيق المعادلة التالية:

$$PET_i(L) = PET_i(0) * k \quad (9)$$

ب- حساب متوسط التبخر بنموذج تورك (Turc, 1961)

يتم حساب التبخر بنموذج تورك بتطبيق المعادلة التالية (Lecarpentier, 1975: 397)

$$Et_p \text{ (mm)} = [(0.013n * T(^{\circ}\text{C})) / (T(^{\circ}\text{C}) + 15)] * [I_g + 15] * [1 + ((50 - R_H) / 70)] \quad (10)$$

وفيه يمثل Et_p (mm) المتوسط الشهري للتبخر (ملم) و $T(^{\circ}\text{C})$ متوسط الحرارة الشهري ($^{\circ}\text{C}$) و I_g المتوسط اليومي للإشعاع الشمسي (ساعة/سم²/يوم) و R_H المتوسط الشهري للرطوبة النسبية (%).

وقد أظهر تطبيق هذين النموذجين أن معدل الفاقد السنوي بواسطة التبخر بلغ ١٨٠٦,٤ ملم بمتوسط شهري قدره ١٥٠,٥ ملم بمحطة مكة المكرمة و١٥٣٤,٤ ملم بمتوسط شهري قدره ١٢٧,٩ ملم بمحطة جدة (الجدول ٩).

كما بلغ متوسط الفاقد اليومي بواسطة التبخر المحسوب بنموذجي ثورنثوايت وتورك خلال نفس الفترة ١٩٨٥-٢٠١٠ م ٤,٩ ملم/يوم بمحطة مكة المكرمة و ٤,٢ ملم/يوم بمحطة جدة. ولقد تم الاعتماد على المتوسط اليومي للفاقد بواسطة التبخر بمحطة مكة المكرمة في حساب الميزانية المائية بمحطتي الشفا والبرزة وعلى المتوسط اليومي للفاقد بواسطة التبخر بمحطة جدة في حساب الميزانية المائية بمحطتي الليث والفائجة.

الجدول ٩: المتوسطات الشهرية واليومية لكمية التبخر للفترة ١٩٨٥-٢٠١٠ بمحطتي مكة المكرمة وجدة

الشهر	محطة مكة				محطة جدة			
	نموذج Thornthwaite	نموذج Turc	المتوسط اليومي	المتوسط الشهري	نموذج Thornthwaite	نموذج Turc	المتوسط اليومي	المتوسط الشهري
يناير	٨٧,٥	١١٩,٦	٣,٣	١٠٣,٦	١١٧,٥	٨٣,٦	٣,٢	١٠٠,٦
فبراير	١٠٥,٤	١٢١,٣	٤,٠	١١٣,٤	١١٨,٠	٩٣,٩	٣,٨	١٠٦,٠
مارس	١٣٢,٠	١٢٨,٣	٤,٢	١٣٠,٢	١٢٢,١	١٠٦,٦	٣,٧	١١٤,٤
أبريل	١٩٣,٤	١٣٩,٨	٥,٦	١٦٦,٦	١٣٠,١	١٥٢,٩	٤,٧	١٤١,٥
مايو	٢١٣,٠	١٥١,٨	٥,٩	١٨٢,٤	١٣٧,٠	١٥٥,٩	٤,٧	١٤٦,٥
يونيو	٢٤٣,٢	١٥٧,٨	٦,٧	٢٠٠,٥	١٤٠,٣	١٦٦,١	٥,١	١٥٣,٢
يوليو	٢٣٦,٩	١٥٨,٢	٦,٤	١٩٧,٦	١٤٥,٦	١٧٩,٤	٥,٢	١٦٢,٥
أغسطس	٢١٣,٤	١٥٧,٤	٦,٠	١٨٥,٤	١٤٥,٦	١٥٦,٤	٤,٩	١٥١,٠
سبتمبر	١٧٤,٠	١٥٤,٥	٥,٥	١٦٤,٣	١٤١,٣	١١٩,٠	٤,٣	١٣٠,٢
أكتوبر	١٤٦,٠	١٤٤,٠	٤,٧	١٤٥,٠	١٣٥,٧	١٠٩,٨	٤,٠	١٢٢,٨
نوفمبر	٩٤,٠	١٣١,٥	٣,٨	١١٢,٨	١٢٨,٤	٨٢,٣	٣,٥	١٠٥,٤
ديسمبر	٨٦,١	١٢٣,٦	٣,٤	١٠٤,٩	١٢١,٦	٧٩,٦	٣,٢	١٠٠,٦

وعليه يمكن تقدير الفاقد المائي بواسطة التبخر من معدل التبخر اليومي المحسوب بواسطة نموذجي تورنثوايت وتورك لكل يوم من الفترة المدروسة (الجدول ١٠).

الجدول ١٠: كميات الفاقد المائي بواسطة التبخر بالمحطات المدروسة

السنة	الشفة	جدة	البرزة	الليث	الفايجة	السنة	الشفة	جدة	البرزة	الليث	الفايجة
١٩٧٦	٤,٧	٤,٧	٤,٧	٤,٠	٣,٤	١٩٩٤	٣,٣	٣,٢	٤,٧	٣,٢	٣,٣
١٩٧٧	٣,٤	٣,٢	٣,٤	٥,٦	٣,٨	١٩٩٥	٣,٣	٣,٢	٣,٤	٣,٢	٣,٣
١٩٧٨	٦,٤	٣,٨	٣,٤	٣,٥	٣,٨	١٩٩٦	٤,٠	٣,٨	٤,٠	٣,٨	٣,٤
١٩٧٩	٣,٣	٣,٢	٣,٢	٤,٠	٤,٢	١٩٩٧	٣,٤	٣,٢	٣,٣	٣,٢	٣,٤
١٩٨٠	٤,٠	٣,٥	٣,٥	٣,٢	٣,٣	١٩٩٨	٤,٠	٣,٢	٣,٨	٣,٢	٣,٤
١٩٨١	٤,٢	٣,٧	٣,٧	٣,٢	٣,٣	١٩٩٩	٤,٢	٣,٧	٤,٢	٣,٧	٣,٣
١٩٨٢	٤,٠	٤,٠	٤,٠	٣,٥	٥,٩	٢٠٠٠	٤,٠	٣,٢	٤,٧	٣,٢	٣,٤
١٩٨٣	٤,٢	٣,٢	٣,٢	٣,٢	٥,٦	٢٠٠١	٦,٠	٣,٢	٣,٣	٣,٢	٣,٤
١٩٨٤	٣,٨	٣,٥	٣,٥	٣,٣	٣,٣	٢٠٠٢	٣,٣	٣,٥	٥,٥	٣,٥	٣,٤
١٩٨٥	٥,٩	٣,٥	٣,٥	٣,٥	٥,٥	٢٠٠٣	٥,٩	٣,٢	٣,٤	٣,٢	٣,٣
١٩٨٦	٦,٧	٣,٥	٣,٥	٣,٢	٣,٤	٢٠٠٤	٥,٦	٤,٧	٦,٧	٤,٧	٣,٤
١٩٨٧	٥,٩	٣,٢	٣,٢	٣,٢	٦,٤	٢٠٠٥	٣,٣	٣,٧	٤,٢	٣,٢	٣,٤
١٩٨٨	٥,٩	٣,٢	٣,٢	٤,٠	٤,٧	٢٠٠٦	٥,٥	٣,٢	٣,٨	٣,٢	٣,٤
١٩٨٩	٤,٢	٣,٢	٣,٢	٣,٨	٣,٣	٢٠٠٧	٣,٤	٣,٢	٣,٤	٣,٢	٣,٣
١٩٩٠	٤,٢	٣,٧	٣,٧	٣,٥	٣,٨	٢٠٠٨	٥,٦	٤,٧	٥,٦	٤,٧	٣,٤
١٩٩١	٣,٣	٣,٣	٤,٣	٣,٥	٦,٠	٢٠٠٩	٤,٧	٣,٥	٣,٤	٣,٥	٣,٣
١٩٩٢	٣,٤	٣,٤	٣,٢	٣,٤	٣,٤	٢٠١٠	٦,٠	٣,٥	٣,٨	٣,٢	٣,٣
١٩٩٣	٤,٧	٤,٧	٣,٢	٣,٢	٤,٢	٢٠١١	٦,٠	٤,٧	٥,٥	٣,٢	٣,٣
المتوسط						٤,٥	٤,٥	٣,٥	٤,١	٣,٦	٤,٥
الانحراف المعياري						١,١	١,١	٠,٤	٠,٩	٠,٦	١,١

٨-٤- حساب متوسط الفاقد المائي بواسطة التسرب أو التخزين (ΔS)

من المعادلة (١) نجد أن إجمالي الفاقد المائي هو عبارة عن مجموع الفاقد المائي بواسطة التبخر (Etp) والتسرب أو التخزين (ΔS) كما توضحه المعادلة (٣):

$$I_a = (Etp + \Delta S)$$

وعليه فإن الفاقد المائي بواسطة التسرب هو عبارة عن حاصل الفرق بين إجمالي الفاقد المائي ومجموع الفاقد المائي بواسطة التبخر، أي أن: (الجدول ١١)

$$\Delta S = I_a - E_{tp} \quad (II)$$

السنة	الشفاء	جدة	البرزة	الليث	الفايجة	السنة	الشفاء	جدة	البرزة	الليث	الفايجة
١٩٧٦	١٠,٦	١٠,٦	١٠,٦	٩,٨	١١,٣	١٩٩٤	١١,٩	١١,٣	١١,٣	١٢,١	١٢,٠
١٩٧٧	١١,٩	١٢,١	١١,٩	٩,٨	١١,٣	١٩٩٥	١١,٩	١٢,١	١١,٩	١٢,١	١٢,٠
١٩٧٨	٨,٩	١١,٥	١١,٥	١٠,٦	١١,٥	١٩٩٦	٩,٧	١١,٣	١١,٣	١١,٥	١١,٣
١٩٧٩	١٢,٠	١٢,١	١٢,٠	١٢,٠	١١,٨	١٩٩٧	١١,٥	١٢,١	١٢,٠	١٢,١	١١,٩
١٩٨٠	١١,٣	١١,٨	١١,٨	١٢,٠	١١,٣	١٩٩٨	١١,١	١١,٣	١١,٥	١٢,١	١١,٣
١٩٨١	١١,١	١١,٦	١١,٦	١١,١	١٢,١	١٩٩٩	١٢,٠	١١,٦	١١,٦	١١,٦	١١,١
١٩٨٢	١١,٣	١١,٣	١١,٣	١١,٩	١٢,١	٢٠٠٠	١٢,٠	١١,٣	١٠,٦	١٢,١	١١,٣
١٩٨٣	١١,١	١٢,١	١٢,٠	١١,٥	١١,٨	٢٠٠١	٩,٤	١٢,١	١٢,٠	١٢,١	٩,٣
١٩٨٤	١١,٥	١١,٨	١١,٨	١٠,٦	١٢,١	٢٠٠٢	٩,٧	١١,٨	٩,٨	١١,٨	١١,٩
١٩٨٥	٩,٤	١١,٨	١١,٨	١١,١	١٢,١	٢٠٠٣	١٢,٠	١١,٩	١١,٩	١٢,١	١٢,٠
١٩٨٦	٨,٦	١١,٨	١١,٨	١١,٥	١٢,١	٢٠٠٤	٩,٨	١٠,٦	٨,٦	١٠,٦	١١,٩
١٩٨٧	٩,٤	١٢,١	١٢,١	١٢,٠	١٢,١	٢٠٠٥	١١,٩	١١,٦	١١,١	١١,٦	١٠,٦
١٩٨٨	٩,٤	١٢,١	١٢,٠	١٢,٠	١٢,١	٢٠٠٦	٨,٩	١١,٥	١١,٥	١٢,١	٩,٤
١٩٨٩	١١,١	١٢,١	١٢,١	٩,٧	١١,٣	٢٠٠٧	١٠,٦	١١,٩	١١,٩	١٢,١	٨,٩
١٩٩٠	١١,١	١١,٦	١١,٦	٩,٧	١١,٥	٢٠٠٨	١٢,٠	١٠,٦	٩,٧	١٠,٦	١١,٥
١٩٩١	١٢,٠	١١,٠	١١,٠	١١,٥	١١,٨	٢٠٠٩	١١,٥	١١,٩	١١,٩	١١,٨	١٢,٠
١٩٩٢	١١,٩	١٢,١	١٢,١	١١,٨	١١,٨	٢٠١٠	٩,٣	١١,٥	١١,٥	١١,٨	١١,٩
١٩٩٣	١٠,٦	١٢,١	١٢,١	١١,٣	١١,٩	٢٠١١	١١,٩	١٢,١	٩,٨	١٠,٦	١٢,٠
المتوسط						١٠,٨	١١,٧	١١,٢	١١,٨	١٠,٨	١٠,٨
الانحراف المعياري						١,١	٠,٦	٠,٩	٠,٤	١,١	١,١

٨-٥- حساب متوسط الفائض المائي (Excess Rainfall)

يعبر الفائض المائي (R) عن الفرق بين كمية الأمطار وإجمالي كمية الفاقد المائي.

وبالتعويض في المعادلة (١) نحصل على:

$$P = R + (I_a) \quad (12)$$

$$R = P - (I_a) \quad (13)$$

بحيث يمثل I_a (mm) كمية الفاقد المائي و P (mm) كمية الأمطار (الجدول ١٢).

الجدول ١٢: كميات الفائض المائي بالمحطات المدروسة

السنة	الشفاء	حدة	البرزة	الليث	الفائحة	السنة	الشفاء	حدة	البرزة	الليث	الفائحة
١٩٧٦	٢٢,٨	٠,٠	١٣,٣	٢٥,٥	٣٢,٧	١٩٩٤	٦,٨	٠,٠	٢,٣	٢٤,٧	٩,٧
١٩٧٧	٤٢,٠	٠,٠	٢١,٩	٦,٢	١٩,٧	١٩٩٥	٣٨,٢	٢,١	١,٩	٧٢,٧	٤,٧
١٩٧٨	٢٣,٧	٣٠,٩	١,١	٤٢,٨	٥٣,٠	١٩٩٦	٣٤,٩	٣١,٢	٠,٠	١٣٧,٧	٤٤,٧
١٩٧٩	٤٥,٣	٥٧,٥	٤٠,١	٤٦,٧	٦٧,٩	١٩٩٧	١٢,١	٣٦,٧	٠,٠	٣١,٧	١٤,٧
١٩٨٠	١٠,١	٨,١	٣,٣	٠,٠	٨,٢	١٩٩٨	٥٠,٩	١٢,٠	٠,٠	١٨,٧	٢,٧
١٩٨١	٤٨,٢	٢,١	٠,٠	٠,٠	١١,٥	١٩٩٩	٣٥,٧	٥,٧	٠,٠	٧٤,٧	٩,٠
١٩٨٢	٢٩,٩	٣٩,٦	٢٨,٣	٠,٠	١٥,٣	٢٠٠٠	٢٨,٣	٩,٢	٣,٥	٩,٧	٩,٧
١٩٨٣	٤٠,٣	٠,٠	٠,٠	٣,٩	٠,٠	٢٠٠١	٣٤,٧	٣٥,٩	٠,٠	١٠,٢	١٤,٧
١٩٨٤	١٩,١	٠,٠	١٤,٧	٣٤,٧	١٠,٧	٢٠٠٢	١٨,٢	١٣,٧	١,٥	٠,٠	١٩,٧
١٩٨٥	٦٧,٢	٣٤,٥	٣٥,٦	٠,٠	٢٩,٧	٢٠٠٣	٠,٠	٣,١	٠,٠	٠,٠	٤,٧
١٩٨٦	١٠,٣	٠,٠	٢٤,٧	٢٤,٧	٣١,٧	٢٠٠٤	١٤,٧	٤,٧	٠,٠	٢٣,٠	٢٩,٧
١٩٨٧	٢٤,٢	٥,٧	٤٣,٣	٢٣,٢	٣٤,٧	٢٠٠٥	٠,٠	٩,٧	٠,٠	٣١,٧	٠,٠
١٩٨٨	١٩,٥	٢,١	٢٢,٣	٢٩,٧	١٢,٧	٢٠٠٦	٠,٠	٩,٧	٠,٠	٠,٠	٠,٠
١٩٨٩	١٢,٩	١٤,٧	٣٠,٣	١٦,٧	٢٢,١	٢٠٠٧	٢,٩	٠,٠	٠,٠	٤,٧	٠,٠
١٩٩٠	٢٢,٧	٠,٠	٠,٠	٢٣,٧	٤٤,٧	٢٠٠٨	٧,٠	١,٧	٠,٠	٦,٧	١٠,٤
١٩٩١	٤٧,٢	٢٣,١	١٣,٣	٠,٠	٠,٠	٢٠٠٩	١٩,٢	٦٤,٧	٠,٠	٠,٠	١١٠,٧
١٩٩٢	٦٣,٠	٢٣,١	٢٧,٧	٤٤,٧	١٥,٧	٢٠١٠	١٥,٢	١٣,٧	٠,٠	٠,٠	٠,٠
١٩٩٣	٤٨,٥	٢,٧	٠,٠	٧,٢	١٤,٧	٢٠١١	٢٧,٧	١٠٨,٧	١٩,٧	٠,٠	٠,٠
						المتوسط					
						الانحراف المعياري					
	٢٢,١	١٦,٨	١٤,٨	١٧,٣	١٧,٥		٣٣,٢	١٣,٦	١٧,٨	١٨,٣	٢٧,٦

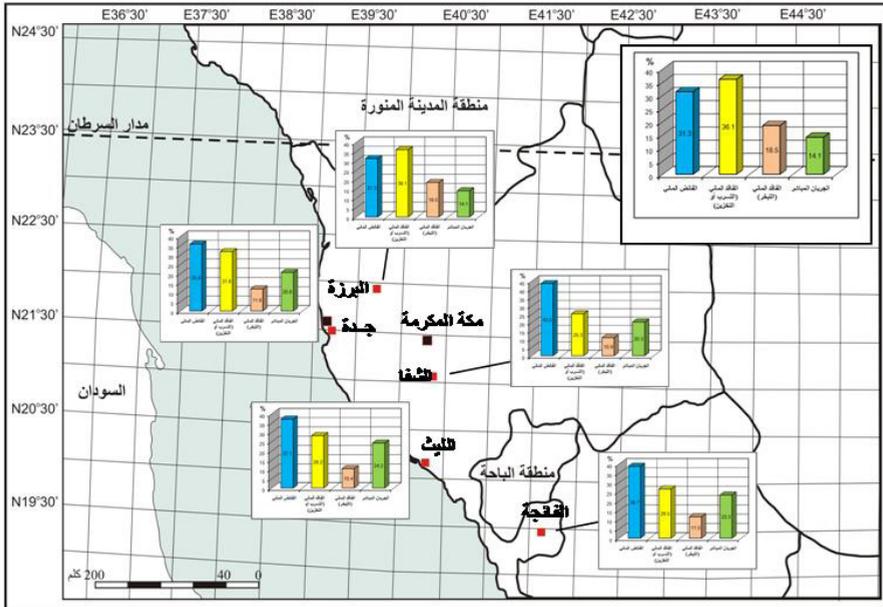
٨-٦- حساب متوسط الجريان المباشر (Q_d)

يعبر الجريان السطحي المباشر (Q_d) عن كمية الأمطار المتبقية التي بإمكانها أن تشكل جرياناً سطحياً. ويمكن حساب هذه الكمية بتطبيق المعادلة التالية من نموذج NRCS-CN:

$$Q_d = [P - I_a]^2 / [P + (0.8 S)] \quad (14) \quad (\text{SCS 1985, NEH-4})$$

بحيث يمثل I_a (mm) كمية الفاقد المائي و P (mm) كمية الأمطار و S (mm) أقصى طاقة لاحتفاظ التربة بالماء.

ويخلص الجدول ١٣ متوسط عمق الجريان السطحي بالمحطات المدروسة.



الشكل ٤: عناصر الميزانية المائية بالمحطات المطرية المدروسة

المصدر: عمل الباحثة بالاعتماد على بيانات الجداول ١٠ و ١١ و ١٢.

الجدول ١٣: كميات الجريان المباشر بالمحطات المدروسة

السنة	الشفة	جدة	البرزة	الليث	الفائجة	السنة	الشفة	جدة	البرزة	الليث	الفائجة	السنة
١٩٧٦	٥,٢	١,٣	٢,٠	٦,٤	٩,٨	١٩٩٤	٠,٦	٣,٣	٠,١	٦,٠	١,١	
١٩٧٧	١٤,٩	١,٤	٤,٩	٠,٥	٤,٠	١٩٩٥	١٢,٧	٠,١	٣٥,٤	٠,٣		
١٩٧٨	٥,٦	٨,٩	٠,٠	١٥,٣	٢١,٧	١٩٩٦	١٠,٩	٩,٠	٨٨,٥	١٦,٥		
١٩٧٩	١٦,٨	٢٤,٦	١٣,٨	١٧,٧	٣١,٩	١٩٩٧	١,٦	١١,٩	٩,٣	٢,٤		
١٩٨٠	١,٢	٠,٨	٠,١	٢,٥	٤١,٠	١٩٩٨	٢٠,٣	١,٦	٣,٧	٠,١		
١٩٨١	١٨,٦	٠,١	٠,٠	١,٢	١,٥	١٩٩٩	١١,٣	٠,٤	٣٦,٩	٤٨,٦		
١٩٨٢	٨,٤	١٣,٥	٧,٦	٠,١	٢,٥	٢٠٠٠	٧,٦	١,٠	١,١	١,١		
١٩٨٣	١٣,٩	١,٦	٢,٠	٠,٢	٠,١	٢٠٠١	١٠,٨	١١,٤	١,٢	٢,٤		
١٩٨٤	٣,٨	٢,١	٢,٤	١٠,٨	١,٣	٢٠٠٢	٣,٥	٢,١	٠,٣	٤,٠		
١٩٨٥	٣١,٤	١٠,٧	١١,٣	٠,٨	٨,٣	٢٠٠٣	٠,١	٠,١	٠,١	٠,٣		
١٩٨٦	١,٢	٣,٣	٦,٠	٦,٠	٩,٣	٢٠٠٤	٢,٤	٠,٣	٥,٣	٨,٣		
١٩٨٧	٥,٨	٠,٤	١٥,٦	٥,٤	١٠,٨	٢٠٠٥	٠,٩	١,١	٩,٣	٠,٠		
١٩٨٨	٤,٠	٠,١	٥,٠	٨,٣	١,٨	٢٠٠٦	٠,٥	١,١	٠,١	٠,١		
١٩٨٩	١,٩	٢,٤	٨,٦	٣,٠	٥,٠	٢٠٠٧	٠,١	٠,٤	٠,٨	٠,٣		
١٩٩٠	٥,٢	٠,٨	١,٢	٥,٦	١٦,٥	٢٠٠٨	٠,٦	٠,٠	٠,٥	١,٣		
١٩٩١	١٨,٠	٥,٣	٢,٠	١,٦	٠,٤	٢٠٠٩	٣,٨	٢٩,٦	٠,٤	٦٥,٤		
١٩٩٢	٢٨,٤	٥,٣	٧,٤	١٦,٥	٢,٧	٢٠١٠	٢,٥	٢,١	٠,٤	٠,٢		
١٩٩٣	١٨,٨	٠,١	٠,٧	٠,٦	٢,٤	٢٠١١	٧,٤	٦٣,٧	٤,٠	١,٣		
						المتوسط						
						الانحراف المعياري						

٩- التباينات المكانية للميزانية المائية:

تتلخص التباينات المكانية للميزانية المائية في ما يلي:

أ- التضاريس الجبلية

بلغ متوسط الأمطار اليومية القصوى بمحطة الشفا ٤١,١ ملم/يوم بانحراف معياري قدره ١٨,٥ ملم، في حين بلغت أعلى كمية من هذه الأمطار ٨٢,٥ ملم خلال يوم ١٥ مايو ١٩٨٥م. وبلغ المجموع التراكمي للأمطار اليومية القصوى ١٤٧٨,٣ ملم خلال فترة ٣٥ سنة (١٩٧٦-٢٠١١م). وتفوق الأمطار اليومية القصوى لجميع السنوات المسجلة بمحطة الشفا التي تمثل التضاريس الجبلية لمنطقة مكة المكرمة الفاقد المائي الذي يعادل ١٥,٣ ملم/يوم، عدا أمطار يوم ١٣ سبتمبر ٢٠٠٣م ويوم ٢٣ يوليو ٢٠٠٥م ويوم ٣ أكتوبر ٢٠٠٦م التي لم تتعد على التوالي ١٣,٠ ملم و٧,٥ ملم و٩,٥ ملم. وعليه فإن نسبة كميات الأمطار اليومية القصوى التي بإمكانها أن تولد فائضاً مائياً قد يتحول جزء منه أو كله إلى جريان سطحي مباشر تعادل ٩٨,٠٪ من إجمالي الأمطار اليومية القصوى المسجلة خلال الفترة المذكورة بمحطة الشفا. ويعكس هذا الوضع مدى القدرة الكبيرة للأمطار اليومية القصوى التي تتساقط على التضاريس الجبلية بمكة المكرمة في توفير فائض مائي.

ولقد بلغ المجموع التراكمي للفائض المائي خلال نفس الفترة ٩٤٣,٤ ملم، أي ما يعادل نسبة قدرها ٦٤,٠٪ من الإجمالي التراكمي للأمطار اليومية القصوى، يشكل منها الجريان السطحي المباشر ٣٠٠,٦ ملم، أي ما نسبته ٣١,٩٪ من الإجمالي التراكمي لهذا الفائض و٢٠,٣٪ من الإجمالي التراكمي للأمطار اليومية القصوى.

كما بلغ المجموع التراكمي للفاقد المائي ٥٣٤,٩ ملم، أي ما يعادل نسبة قدرها ٣٦,٣٪ من الإجمالي التراكمي للأمطار اليومية القصوى، يشكل منها الفاقد بواسطة التبخر ١٦١,٣ ملم والفاقد بواسطة التسرب أو التخزين ٣٧٣,٦ ملم، أي ما يعادل نسبة قدرها على التوالي ٣٠,٢٪ و٦٩,٨٪ من إجمالي الفاقد المائي بمحطة الشفا، في حين تمثل هذه الفوائد نسبة قدرها على التوالي ١٠,٩٪ و٢٦,٣٪ من المجموع التراكمي للأمطار اليومية القصوى.

ب- تضاريس الهضاب

تمثل تضاريس الهضاب الشمالية محطة البرزة وتضاريس الهضاب الجنوبية محطة الفائجة. ويتراوح متوسط الأمطار اليومية القصوى بين ٣٨,٧ ملم/يوم بانحراف معياري قدره ٢٧,٧ ملم بمحطة الفائجة و ٢٢,٣ ملم/يوم بانحراف معياري قدره ١٦,٥ ملم بمحطة البرزة، في حين بلغت أعلى كمية من هذه الأمطار ١٢٦,٠ ملم خلال يوم ٣١ يناير ٢٠٠٩ م و ٥٨,٦ ملم خلال يوم ٨ يوليو ١٩٨٧ م بالمحطتين على التوالي. وبلغ المجموع التراكمي للأمطار اليومية القصوى خلال الفترة المدروسة ٨٠١,٢ ملم بمحطة البرزة و ١٣٩٢,٨ ملم بمحطة الفائجة. وبلغ المجموع التراكمي للأمطار اليومية القصوى التي تفوق الفاقد المائي الذي يعادل ١٥,٣ ملم/يوم ٦٨٤,٣ ملم بمحطة البرزة و ١٣٠٦,٩ ملم بمحطة الفائجة. وعليه فإن نسبة كمية الأمطار اليومية القصوى التي بإمكانها أن تولد فائضاً مائياً قد يتحول جزء منه أو كله إلى جريان سطحي مباشر تعادل بالمحطتين على التوالي ٨٥,٤٪ و ٩٣,٨٪ من إجمالي الأمطار اليومية القصوى المسجلة خلال الفترة المذكورة. وتعكس هذه النسب مدى إمكانية توفر موارد مائية هامة خلال فترات تساقط الأمطار اليومية القصوى بتضاريس الهضاب بمنطقة مكة المكرمة.

ولقد بلغ المجموع التراكمي للفائض المائي خلال نفس الفترة ٣٦٣,٧ ملم بمحطة البرزة و ٨٦٣,٢ ملم بمحطة الفائجة، أي ما يعادل نسبة قدرها على التوالي ٤٥,٤٪ و ٩٣,٨٪ من إجمالي التراكمي للأمطار اليومية القصوى بالمحطتين، يشكل منها الجريان السطحي المباشر على التوالي أيضاً ١١٢,٩ ملم و ٣٢٣,٩ ملم، أي ما نسبته ٣١,٠٪ و ٣٧,٥٪ من إجمالي التراكمي لهذا الفائض ونسبة قدرها ١٤,٠٪ و ٢٣,٣٪ من إجمالي التراكمي للأمطار اليومية القصوى.

كما بلغ المجموع التراكمي للفاقد المائي ٤٣٧,٥ ملم بمحطة البرزة و ٥٢٩,٦ ملم بمحطة الفائجة، أي ما يعادل نسبة قدرها على التوالي ٥٤,٦٪ و ٣٨,٠٪ من إجمالي التراكمي للأمطار اليومية القصوى، يشكل منها الفاقد بواسطة التبخر ١٤٨,٣ ملم و ١٦٠,٤ ملم، أي ما نسبته أيضاً على التوالي ٣٣,٩٪ و ٣٠,٣٪ من إجمالي الفاقد بالمحطتين، في حين

بلغ الفاقد بواسطة التسرب أو التخزين ٢٨٩,٣ ملم بمحطة البرزة و ٣٦٩,٢ ملم بمحطة الفائجة، أي ما يعادل نسبة قدرها على التوالي ٦٦,١٪ و ٦٩,٧٪ من إجمالي الفاقد المائي على التوالي.

ج- التضاريس الساحلية

تمثل التضاريس الساحلية الشمالية محطة جدة والتضاريس الساحلية الجنوبية محطة الليث. ويتراوح متوسط الأمطار اليومية القصوى بين ٣١,٢ ملم/يوم بانحراف معياري قدره ٢٥,٩ ملم بمحطة جدة و ٣٤,٨ ملم/يوم بانحراف معياري قدره ٣٠,٠ ملم بمحطة الليث، في حين بلغت أعلى كمية من هذه الأمطار ١٢٤,٠ ملم خلال يوم ٢٦ يناير ٢٠١١م و ١٥٣,٠ ملم خلال يوم ١٥ نوفمبر ١٩٩٦م بالمحطتين على التوالي. وبلغ المجموع التراكمي للأمطار اليومية القصوى خلال الفترة المدروسة ١٠٧٥,٤ ملم بمحطة جدة و ١٢٥٢,٠ ملم بمحطة الليث. وبلغ المجموع التراكمي للأمطار اليومية القصوى التي تفوق الفاقد المائي الذي يعادل ١٥,٣ ملم/يوم ١٠٣٥,١ ملم بمحطة جدة و ١١٨١,٣ ملم بمحطة الليث. وعليه فإن نسبة كمية الأمطار اليومية القصوى التي بإمكانها أن تولد فائضاً مائياً قد يتحول جزء منه أو كله إلى جريان سطحي مباشر تعادل بالمحطتين على التوالي ٩٦,٣٪ و ٩٤,٤٪ من إجمالي الأمطار اليومية القصوى المسجلة خلال الفترة المذكورة. وتعكس هذه النسب الإمكانية الكبيرة لتوفر فائض خلال فترات تساقط الأمطار اليومية القصوى بالتضاريس الساحلية بمنطقة مكة المكرمة بإمكانه أن يتحول إلى جريان سطحي عادي أو سيلبي غزير.

ولقد بلغ المجموع التراكمي للفائض المائي خلال نفس الفترة ٦٠٦,٧ ملم بمحطة جدة و ٧٦٨,٢ ملم بمحطة الليث، أي ما يعادل نسبة قدرها على التوالي ٥٦,٤٪ و ٦١,٤٪ من إجمالي التراكمي للأمطار اليومية القصوى بالمحطتين، يشكل منها الجريان السطحي المباشر على التوالي أيضاً ٢٢١,٨ ملم و ٣٠٣,٢ ملم، أي ما نسبته ٣٦,٦٪ و ٣٩,٥٪ من إجمالي التراكمي لهذا الفائض ونسبة قدرها ٢٠,٦٪ و ٢٤,٢٪ من إجمالي التراكمي للأمطار اليومية القصوى.

كما بلغ المجموع التراكمي للفاقد المائي ٤٦٨,٧ ملم بمحطة جدة و ٤٨٣,٨ ملم بمحطة الليث، أي ما يعادل نسبة قدرها على التوالي ٤٣,٦٪ و ٣٨,٦٪ من إجمالي التراكمي للأمطار اليومية القصوى، يشكل منها الفاقد بواسطة التبخر ١٢٦,٨ ملم و ١٣٠,٤ ملم، أي ما نسبته أيضاً على التوالي ٢٧,١٪ و ٢٧,٠٪ من إجمالي الفاقد بالمحطتين، في حين بلغ الفاقد بواسطة التسرب أو التخزين ٣٤١,٩ ملم بمحطة جدة و ٣٥٣,٤ ملم بمحطة الليث، أي ما يعادل نسبة قدرها على التوالي ٧٢,٩٪ و ٧٣,٠٪ من إجمالي الفاقد المائي على التوالي.

الخلاصة:

بالرغم من أن مناخ منطقة مكة المكرمة يتسم بالجفاف وندرة الأمطار إلا أن الميزانية المائية للمحطات المطرية المدروسة أظهرت خلال الفترة ١٩٧٦-٢٠١١ إمكانية توفر كميات من الأمطار اليومية القصوى لها القدرة على توليد فائض مائي بإمكانه أن يتحول إلى جريان سطحي عادي أو جريان سيلبي غزير.

ويرتبط هذا الفائض المائي في كميته وفي توزيعه المكاني بتباينات التوزيع المكاني بكميات الأمطار اليومية القصوى، بحيث اتضح أن هناك تباين مكاني في نسبة الأمطار اليومية القصوى التي تفوق معامل الاستخلاص الأولي (I_p) الذي يمثل كمية الفاقد المائي من مياه الأمطار. وقد بلغت نسبة هذه الأمطار إلى إجمالي الأمطار اليومية القصوى للفترة المدروسة (٣٥ سنة) ٩٨,٠٪ بمحطة الشفا في مناطق التضاريس الجبلية و ٨٥,٤٪ و ٩٣,٨٪ بمحطتي البرزة والفائجة على التوالي بمناطق تضاريس الهضاب و ٩٦,٣٪ و ٩٤,٤٪ بمحطتي جدة والليث على التوالي بمناطق التضاريس الساحلية.

وقد ترتب عن هذه التباينات تباين التوزيع المكاني لنسبة الفائض إلى إجمالي الأمطار اليومية القصوى، بحيث بلغت هذه النسبة ٦٤,٠٪ بمحطة الشفا و ٤٥,٤٪ و ٩٣,٨٪ بمحطتي البرزة والفائجة على التوالي و ٥٦,٤٪ و ٦١,٤٪ بمحطتي جدة والليث على التوالي. كما أدت هذه التباينات إلى تباين كمية ونسبة الجريان السطحي المباشر إلى إجمالي

الفائض المائي، بحيث بلغت هذه النسبة ٣١,٩٪ بمحطة الشفا و ٣١,٠٪ و ٣٧,٥٪ بمحطتي البرزة والفائجة على التوالي و ٣٦,٦٪ و ٣٩,٥٪ بمحطتي جدة والليث أيضاً على التوالي.

وعليه فإن نسبة إجمالي الفاقد المائي إلى إجمالي الأمطار اليومية القصوى بلغت ٣٦,٣٪ بمحطة الشفا و ٥٤,٦٪ و ٣٨,٠٪ بمحطتي البرزة والفائجة على التوالي و ٤٣,٦٪ و ٣٨,٦٪ بمحطتي جدة والليث أيضاً على التوالي.

ومن ما تقدم فإن هذه الدراسة أظهرت إمكانية الاستفادة من نموذج NRCS-CN في حساب عناصر الميزانية المائية، بحيث يمكن تطبيق الخطوات المنهجية لهذه الدراسة في تقدير الميزانية المائية لأحواض التصريف لأودية منطقة مكة المكرمة وغيرها من الأحواض والمناطق بالمملكة العربية السعودية.

المصادر والمراجع

أولاً: المراجع العربية:

- البارودي، محمد سعيد (١٩٨٦): الميزانية المائية لحوض وادي فاطمة، سلسلة بحوث جغرافية، العدد ٨٨، الجمعية الجغرافية الكويتية، وحدة البحث والترجمة، جامعة الكويت.
- حلبي، عبد القادر علي (١٩٧٧): الموازنة المائية في الجزائر، مجلة البحوث والدراسات العربية، العدد ٨، معهد البحوث والدراسات العربية، القاهرة، ص ص ٢٣٣-٢٥٨.
- الجراش، محمد العبد الله (١٩٨٨): الميزان المائي المناخي في المملكة العربية السعودية، مجلة الآداب والعلوم الانسانية، المجلد (١)، جامعة الملك عبد العزيز، جدة، ص ص ١-٦٢.
- الخريطة الجيولوجية للجزيرة العربية، ١/٢٠٠٠٠٠٠، وزارة البترول والثروة المعدنية والمساحة الجيولوجية الأمريكية، طبعة ١٩٧٩.
- السمني، محمد عوض السيد (٢٠١٣): الموازنة المائية وتوزيع الأراضي الزراعية بشبه جزيرة سيناء: دراسة في جغرافية المناخ التطبيقي، مجلة الانسانيات، العدد ٤١، جامعة دمنهور، ص ص ٥٠٧-٥٥٢.
- الشماع، عمر صباح؛ صالح، صبار عبد الله؛ علي، نوفل حسن (٢٠١٢): الموازنة المائية لحوض أربيل الشمالي (شمال العراق)، المجلة العراقية للعلوم، المجلد (٤٨)، العدد ١، ص ص ١٢٤-١٣٤.
- المديهم، خالد بن ناصر سليمان (٢٠٠١): الميزانية المائية لحوض وادي حنيفة، سلسلة رسائل جغرافية، العدد ٢٥٢، الجمعية الجغرافية السعودية، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة الملك سعود، الرياض.
- الوليعي، عبد الله بن ناصر (١٩٩٦): جيولوجية وجيومورفولوجية المملكة العربية السعودية (أشكال سطح الأرض)، بحوث في الجغرافيا الطبيعية للمملكة العربية السعودية (القسم الأول)، الطبعة الأولى، الرياض.
- عطا، محمد فوزي أحمد (٢٠٠١): التبخر والميزانية المائية في الأحساء بالمملكة العربية السعودية، المجلة الجغرافية العربية، السنة ٣٣، العدد ٣٨، الجزء الثاني، الجمعية الجغرافية المصرية، ص ص ٢٦٩-٢٩٤.

- عطا، محمد فوزي أحمد (٢٠٠٥): التبخر والميزانية المائية في أبحا بالمملكة العربية السعودية: دراسة في المناخ التطبيقي، المجلة الجغرافية العربية، السنة ٣٦، العدد ٤٥، الجزء الأول، الجمعية الجغرافية المصرية، ص ص ٤٣٣-٤٦٦.
- موسى، حسن علي (١٩٧٦): أقاليم الكفاية المائية في سوريا، المجلة الجغرافية، الجمعية الجغرافية السورية.
- هيئة المساحة الجيولوجية السعودية (٢٠١٢): المملكة العربية السعودية: حقائق وأرقام، الطبعة الأولى، الرياض.

ثانياً: المراجع الأجنبية:

- Al Ghamdi, S. (1991): Estimating runoff curve numbers of the soil conservation service in Arid and Semi Arid Environments using Remotely Sensed Data, A dissertation submitted to the Faculty of the university of Utah, USA.
- Cohen, M.J. ; Hensen-Jeck, C. and Castillo-Moreno, G. (2001): A preliminary water balance for the Colorado River Data, *Journal of Arid Environment*, 49, pp. 35-48.
- Deus, D. ; Gloaguen, R. and Kraus, P. (2013): Water balance modeling in a semi arid environment with limited In situ Data using Remote Sensing in Lake Manyara, East African Rift, Tanzania, *Remote Sensing* (5), pp. 1651-1680.
- Holm, D. (1960): Desert geomorphology in the Peninsula, *Science*, Vol. (132), pp. 1369-1379.
- McCuen, (1982): A guide to Hydrologic Analysis using SCS Methods, Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Moore, T.A., and Al-Rehaili, M.H., (1989): Geologic Map of the Makkah Quadrangle, Sheet 21D, Kingdom of Saudi Arabia: Saudi Arabian Directorate General of Mineral Resources Geoscience Map GM-107, Scale 1:250.000, with text, 62p.

- Sentelhas, P.C. ; Dos Santos, D.L. and Machado, R.E. (2008): Water deficit and Water surplus maps for Brazil, based on FAO Penman Monteith potential evapotranspiration, *Revista ambiente and Agua*, An interdisciplinary Journal of Applied Science, 38, No. 3: 27-42.
- Sokolov, A.A. and Chapman, T.G. (1974): Methods for water balance computations: An international guide for research and practice, Studies and Reports in Hydrology, The UNESCO Press.
- Thornthwaite, C.W. (1948): An approach towards rational classification of Climate, *Geographical Review*, 38: 55-94.
- Turc, L. (1961): Estimation of irrigation water requirements potential evapotranspiration: A simple climatic formula revolved up to date, *Annals of Agronomy* 12: 13-49.
- USDA-SCS, (1985): National Engineering Handbook, section 4, Hydrology, Washington D.C.
- USDA-TR55, (1986): Urban Hydrology for small watersheds, Department of Agriculture, NRCS, Conservation Engineering Division, USA.
- Wolfart, R. (1960): Hydrogeology of the Central Tuwaiq Mountains and adjoining Regions (Saudi Arabia), International Association of Scientific Hydrology, No. 56: 98-112.