

تقييم الموارد المائية في لواء الكورة من خلال تحليل عناصر الموازنة المائية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية

علاء أحمد العمرى^١
تاريخ الاستلام
2023/1/22

أ.د علي أحمد العنانزة^٢
تاريخ القبول
2023/2/22

الملخص:

هدفت الدراسة إلى تقييم الموارد المائية، وتحديد فترات الفائض والعجز المائي في لواء الكورة، حيث اعتمد الباحث على نموذج (ثورنثويت وماذر (TM)) لإعداد الموازنة المائية للفترة الزمنية (1900-2020م) لتحديد مناطق الفائض والعجز المائي في المنطقة، واستخدمت الدراسة البيانات الشهرية والسنوية لمعدلات الأمطار والحرارة في المحطات المناخية الممثلة لمنطقة الدراسة، حيث تم الاعتماد على أربع محطات هي (إربد، رأس منيف، وادي الريان، والباقورة)، واستخدمت نظم المعلومات الجغرافية للتمثيل الخرائطي لنتائج الموازنة المائية والخصائص الطبيعية للمنطقة.

توصلت الدراسة إلى أن المنطقة تعاني من عجز مائي في أشهر السنة جميعها، باستثناء أشهر (فصل الشتاء، وشهر آذار، وتشيرين الثاني)، وسجل هذا العجز أعلى المعدلات في محطة (وادي الريان)، وبلغ 1370.2 ملم، وأقلها في محطة (رأس منيف) وبلغ 512.8 ملم، وسجلت أشهر الصيف (حزيران، تموز، آب) أكثر معدلات العجز المائي بما نسبته (66.48%) من المجموع السنوي، كما توصلت الدراسة إلى أن المنطقة تشهد فائضاً مائياً في فصل الشتاء، وسجل أعلى معدل في محطة (رأس منيف)، وبلغ 423.7 ملم، وأقله في محطة (وادي الريان)، وبلغ 145.9 ملم، ويحدث الفائض ما بين أربعة إلى خمسة أشهر، وسجل أعلى قيمة له في شهر كانون الثاني بنسبة (34%) من المعدل السنوي.

وأوصت الدراسة بالتقييم المستمر للموارد المائية ووضع الاستراتيجيات والخطط اللازمة؛ للمحافظة عليها، واستغلالها بأفضل الطرق، واتخاذ الإجراءات اللازمة في حال نقصانها، كما أوصت بتسهيل الحصول على البيانات المناخية، وتوفيرها بدقة للباحثين؛ بالتالي تكون النتائج أكثر دقة.

الكلمات المفتاحية: الموارد المائية، الموازنة المائية، نظم المعلومات الجغرافية، لواء الكورة.

^١ الجامعة الأردنية

^٢ الجامعة الأردنية

Evaluating Water Resources in Koura District by Analyzing Water Balance Elements Using Geographic Information Systems

Abstract:

The study aimed at evaluating the water resources and determining periods of water surplus and deficit in the Koura district, where the researcher relied on the model (Thornthwaite and Mather) (TM)) to prepare the water balance for the time period 1900_2020 AD to determine the areas of water surplus and deficit in the region, and the study used monthly and annual data of rain and temperature in representative climate stations of the study area, where four stations were adopted namely Irbid, Ras Munif, Al-Rayyan and Al-Baqoura. Geographical information systems were also used for cartographic representation of the results of the water balance and the natural characteristics of the region.

The study revealed that the region experiences a water deficit in all months of the year except the winter months and March and November, and the highest rates were recorded in Wadi Al-Rayyan station and amounted to 1370.2 mm, and the lowest was in Ras Munif station and amounted to 512.8 mm, and was recorded in the summer months (June, July, August). The highest rate of water deficit at (66.48%) of the annual total. The study also found that the region witnesses a water surplus in the winter season. The highest rate was recorded in the Ras Muneef station, which amounted to 423.7 mm, and the lowest was in Wadi Al-Rayyan station, which amounted to 145.9 mm. The water surplus occurs between four to five months and it records its highest value in January at a rate of (34%) of the annual average.

The study recommended the continuous evaluation of water resources and developing strategies and plans for preserving and utilizing them in the best ways, and taking the necessary actions in case of its decrease. It also recommended facilitating access to climate data and providing it accurately to researchers. Therefore, the results will be more accurate.

Keywords: Water resources, Water balance, Geographic information systems, Koura District.

1. المقدمة:

يعاني الأردن -بشكل عام- من نقص حاد في الموارد المائية، ويعدُّ (لواء الكورة) أحد هذه المناطق؛ إذ أصبحت مشكلة المياه في الأردن مصدرًا من مصادر التهديد لها، وترتبط هذه المشكلة بتزايد عدد السكان الذي يؤدي بدوره إلى زيادة الطلب الفعلي على المياه، وفي ظل محدودية الموارد المائية فإنَّ السياسة المائية المتكاملة التي تهدف إلى المحافظة على المصادر المائية المحدودة تعدُّ واجبًا وطنيًا، (المناصير، 2012) كما أنَّ الطلب المتزايد على المياه بسبب التوسع في المشاريع (الاقتصادية، والصناعية، والزراعية، والزيادة السكانية) أدى إلى زيادة استهلاك المياه، وهذا يتطلب إجراء دراسات موسعة للبحث عن مصادر مائية جديدة، وتنمية المصادر المائية المحدودة؛ حيث وصل الطلب على المياه في عام (2015م) إلى 1266 مليون متر مكعب، في حين كانت المصادر المتاحة 1110 مليون متر مكعب، بعجز 156 مليون متر مكعب، وفي عام (2020م) كانت المصادر المتاحة 1130 مليون متر مكعب، في حين بلغ الطلب عليها 1384 مليون متر مكعب بعجز 254 مليون متر مكعب، (وزارة المياه والري 2020).

تعدُّ الموازنة المائية أداة فاعلة لتقييم الموارد المائية، واتخاذ القرارات الخاصة بها من أجل ضمان حصول المحاصيل الزراعية على كمية كافية من المياه، وتعدُّ الموازنة المائية أيضًا أداة للمحافظة على النظام البيئي وحمايته، بمعنى بسيط فإنَّ الموازنة المائية، هي العملية التي تقمُّ نسبة هطول الأمطار، والجريان السطحي، والتبخر، وإعادة تغذية المياه الجوفية، (Jasrotia & other, 2009).

بالتالي تعبر الموازنة المائية عن العلاقة بين عناصر (الدورة الهيدرولوجية الطبيعية) من خلال العلاقة بين الأمطار الساقطة على منطقة ما، مع مجموع ما تفقده هذه المنطقة من مياه بأشكال مختلفة، (Domenico & Schwartz, 1998)، وتعدُّ الموازنة المائية من المؤشرات الهامة التي توضح العلاقة بين التساقط والتبخر/النتح الكامن والحقيقي وما ينتج عنهما من عجز أو فائض مائي؛ إذ تهتم الموازنة المائية بدراسة العلاقة بين المدخلات المائية (التساقط) والمخرجات (التبخر/النتح، والتسرب المائي، والجريان المائي)، في منطقة ما خلال فترة زمنية معينة. وتعدُّ الموازنة موجبة (الفائض المائي) في حال تفوقت المدخلات على المخرجات، في حين تعد سالبة (عجز مائي) إذا حدث العكس، وتكون متعادلة بتساوي كل منهما، (السمي، 2013).

2. مشكلة الدراسة:

يمكن عدُّ عملية إعداد الموازنة المائية قاعدة أساسية لتحديد حجم الفائض، أو العجز المائي في المناطق الجافة، وشبه الجافة في الأردن بشكل عام، وفي (لواء الكورة) بشكل خاص؛ نظرًا لما يعانيه الأردن من عجز مائي مستمر؛ نتيجة قلة مصادر المياه، وانخفاض معدلات الامطار السنوية، وتذبذبها من عام إلى آخر؛ بالتالي فإنَّ عملية تقدير الموازنة المائية في منطقة ما تساعد على تقييم الوضع الهيدرولوجي لها وفهمه؛ إذ يبلغ نصيب الفرد من موارد المياه المتجددة 140 مترًا مكعبًا سنويًا فقط، ومن المتوقع أن ينخفض إلى 90 مترًا مكعبًا سنويًا بحلول عام 2025 وهذا أقل بكثير من "خط الفقر المائي" القياسي البالغ 500 متر مكعب للفرد سنويًا (Altz- 2012)، كما يعدُّ (لواء الكورة) إحدى المناطق التي تعاني من نقص الموارد المائية المتاحة، حيث لا تتجاوز حصة الفرد من مياه الشرب 70 لتر يوميًا، وتعدُّ من أقل الحصص في

محافظة (إربد) التي تتراوح ما بين 80-100 لتر للفرد. وجاءت الدراسة للإجابة عن التساؤلات التالية:

1. ما أشهر الفائض والعجز المائي في لواء الكورة؟
2. ما حجم الفائض والعجز المائي في لواء الكورة؟
3. ما الوضع المائي في لواء الكورة بالاستناد إلى تحليل نتائج عناصر الموازنة المائية؟

3. أهداف الدراسة:

- 1- إعداد الموازنة المائية (لواء الكورة) بالاعتماد على نموذج (TM) للوقوف على الوضع المائي في منطقة الدراسة للفترة (1990م-2020م) بما يحقق الهدف العام للدراسة، وإعداد الخرائط الموضوعية المرتبطة بنتائج تقدير عناصر الموازنة المائية وتحليلها؟
- 2- التعرف على فترات الفائض، والعجز المائي في (لواء الكورة) للفترة الزمنية (1990م-2020م).
- 3- التعرف على حجم الفائض والعجز المائي في لواء الكورة للفترة الزمنية (1990م-2020م).

4. أهمية الدراسة:

تبرز أهمية الدراسة في تقدير الموازنة (لواء الكورة)، ومعرفة الفائض، والعجز المائي خلال أشهر السنة في ظل التغير المناخي الذي انعكس على انخفاض كميات الأمطار من عام إلى آخر، وارتفاع درجات الحرارة؛ مما يؤدي إلى الجفاف؛ بالتالي يؤثر على الأنشطة الاقتصادية والهيدرولوجية جميعها، وكمية النباتات ونوعها، وتزداد أهمية الدراسة في تحليل عناصر الموازنة المائية التي توضح العلاقة بين التساقط والتبخر/النتح الكامن والحقيقي، وما ينتج عنهما من عجز أو فائض مائي للوقوف على الوضع المائي في (لواء الكورة).

5. التعريفات الإجرائية والاصطلاحية:

الموازنة المائية: هي إحدى الطرق المستخدمة لتحديد الفائض، أو العجز المائي من خلال تحليل العلاقة بين عناصر (الدورة الهيدرولوجية الطبيعية)، وحساب ما تفقده هذه المنطقة من مياه بأشكال مختلفة من مجموع كمية الأمطار الساقطة على منطقة ما (العمرى، 2017).
نظم المعلومات الجغرافية: هي أداة عامة تستخدم (لتخزين، واسترجاع، ومعالجة، وتحليل البيانات المكانية) وتعدّ إحدى الوسائل المهمة التي تستخدم في إدارة البيئة لما توفره من وقت وجهد (المصاروة، 2019م).

6. حدود الدراسة:

1. الحدود المكانية: طبقت هذه الدراسة على منطقة (لواء الكورة) في الجزء الشمالي من المملكة الأردنية الهاشمية.
2. الحدود الزمانية: تحليل عناصر الموازنة المائية للفترة (1990م-2020م).
3. الحدود الموضوعية: تقييم الموارد المائية من خلال تحليل عناصر الموازنة المائية.

7. الدراسات السابقة:

دراسة al _ abed&et al (2020)، (النماذج الهيدرولوجية لإدارة الموارد المائية في حوض نهر الزرقاء باستخدام نظم المعلومات الجغرافية)؛ إذ استخدمت هذه الدراسة نظم المعلومات الجغرافية، والاستشعار عن بعد بالتكامل مع نموذج موازنة المياه المكانية (SWBM) و HEC-HMS وهدفت إلى استكشاف مزايا استخدام النماذج الهيدرولوجية القائمة على نظم المعلومات الجغرافية كأداة فعالة لإدارة المياه في حوض نهر الزرقاء، وتوصلت الدراسة إلى أن كلا النموذجين كان لهما أداء جيد، ولكن أعطى نموذج HEC-HMS ال R2 0.90 أكثر قبولاً للنتائج مقارنة بنموذج SWBM الذي بلغ R2 0.85.

دراسة الأسدي، (2020م)، (الموازنة المائية بين الإيراد المائي والاحتياجات المائية من مياه نهر المجر الكبير في محافظة ميسان)، حيث تمت دراسة الموازنة المائية لمياه نهر المجر الكبير من خلال العلاقة بين إيراده المائي السنوي، والمتطلبات المائية للأغراض المختلفة (الزراعية، والاستعمالات المنزلية، والشرب، ومتطلبات الثروة الحيوانية)، علماً أنه لا توجد متطلبات صناعية من المياه بسبب توقف المصانع جميعها في المنطقة، وقد تبين أن الإيراد المائي للنهر يتفاوت من سنة لأخرى استناداً إلى خصائص السنة المائية (رطوبة، متوسطة، جافة)، فقد سجل أعلى إيراد مائي سنوي سنة (1988م) إذ بلغ (4,44 مليار م³)، في حين سجل أقل إيراد مائي سنة (2012م) (022 مليار م³) للمدة من (1985م-2012م). وتشكل المتطلبات الزراعية أكبر كمية من الاحتياجات المائية؛ إذ بلغت (101,085,23 م³/سنة، وهو يعادل 93.5 من مجموع الاحتياجات المائية العامة، يأتي بعدها الاحتياجات المنزلية (6,817,404 م³/سنة، تعادل 6,3%، ثم احتياجات الثروة الحيوانية (134,854 م³/سنة) بما يعادل 0.2؛ النتيجة النهائية أن حجم الاتزان المائي لنهر المجر الكبير بلغ (111962,503 م³/سنة) وهو ما يتبقى من مياه في نهر المجر الكبير.

دراسة Almagbile & et.al (2019)، (التحليل الإحصائي لرطوبة التربة المقدرة والملحوظة في المناخ شبه الرطب في شمال غرب الأردن)؛ إذ استخدمت هذه الدراسة نموذج (مانر وثورنثيت)، حيث تم جمع 16 عينة من قراءة موسم النمو للنباتات لدراسة نموذج توازن الماء في التربة؛ لتقدير رطوبة التربة في الجزء الشمالي الغربي من الأردن، وتشمل (إربد، ورأس منيف). وتوصلت الدراسة إلى أن رطوبة التربة في (رأس منيف) أعلى بقليل من (إربد) ويشير هذا الاختلاف إلى تلقي (رأس منيف) كميات أمطار أعلى، وانخفاض في درجة الحرارة مقارنة بمحطة (إربد)، كما يشير ارتفاع قيم معامل ارتباط (اسبيرمان) إلى وجود استقرار في رطوبة التربة لفترة مؤقتة.

دراسة العمرى، (2017)، تقييم الموارد المائية في حوض وادي شعيب باستخدام (النماذج الهيدرولوجية)، وتقنيات الاستشعار عن بعد، ونظم المعلومات الجغرافية؛ وهدفت الدراسة إلى تقييم الموارد المائية في حوض (وادي الشعيب) بالتكامل ما بين (النماذج الهيدرولوجية، وتقنيات الاستشعار عن بعد، ونظم المعلومات الجغرافية)؛ حيث اعتمد الباحث على نموذج (ثورنثويت ومانر (TM)) لإعداد الموازنة المائية لتحديد مناطق الفائض والعجز المائي، ونموذج خدمة حفظ التربة (SCS)؛ لتقدير الجريان السطحي في منطقة الدراسة؛ وتوصلت الدراسة إلى أن (حوض وادي شعيب) يعاني من العجز المائي في معظم أشهر السنة، إذ بلغ 1990 ملم في السنة، وبلغ حجم الجريان السنوي بالاعتماد على نموذج (SCS) 204640 م³.

دراسة الكعبي، (2017)، (الموازنة المائية بين الإيراد المائي والاحتياجات المائية لنهر البتيرة في محافظة ميسان)، وهدفت الدراسة إلى إيجاد الموازنة المائية لمياه (نهر البتيرة) عن طريق مقارنة كمية الإيراد المائي السنوي للنهر، مع الاحتياجات المائية الزراعية، والاستعمالات المنزلية والشرب، واحتياجات الثروة الحيوانية؛ إذ استخدمت هذه الدراسة معادلة احتمالية تكرار الإيراد، ومدة الرجوع، كما استخدمت معادلة (نجيب خروفة) في حساب كمية التبخر الكامن، وتوصلت الدراسة إلى أن حجم الإيراد المائي السنوي (لنهر البتيرة) لسنة 2014م، 0.88 مليار/م³ أي ما يعادل 880 مليون متر مكعب/سنة، كما يقتصر استثمار مياه النهر على الاستعمالات المنزلية والشرب بالدرجة الأولى؛ إذ بلغت (4179318) م³/سنة، ويأتي بعدها الاحتياجات المائية للزراعة التي بلغت (380369) م³/سنة، وأخيراً احتياجات الثروة الحيوانية من المياه (165036) م³/سنة، وعند مقارنة مجموع هذه الاحتياجات بالإيراد المائي السنوي (لنهر البتيرة) البالغ (0.88) مليار متر/سنة 2014م يتضح أن الموازنة المائية للنهر تبلغ (875.275.277) م² سنة.

دراسة زكري، (2013)، (العلاقة بين التبخر والموازنة المائية لبعض المحطات المناخية في ليبيا)؛ إذ هدفت الدراسة إلى تقدير التبخر الممكن الشهري والفصلي، وإبراز العلاقة بين الأمطار والتبخر؛ من أجل إبراز فترات الفائض المائي والعجز المائي خلال أشهر السنة لبعض المحطات المختارة، واستخدم الباحث معادلتين، هما معادلة (بنمان)؛ لحساب التبخر الممكن، ومعادلة (ثورنثويت)؛ للتعبير عن رطوبة التربة، وتوصلت الدراسة إلى أن أعلى قيم للتبخر/النتح الممكن تسجل خلال أشهر الصيف في المنطقة الداخلية والجنوبية المحسوبة بمعادلة (بنمان)، وبلغ قيمة الفارق بين المحطتين (محطة زوارة والكفرة) 773.6 ملم، بينما سجلت معادلة (ثورنثويت) للمحطتين فارقاً صغيراً بلغت قيمته 19.4 ملم، كما سجلت (محطة شحات) فائضاً مائياً خلال أشهر الشتاء، حيث بلغت قيمته 142.4 ملم، وسجلت (محطات زوارة، سرت) عجزاً مائياً طيلة أشهر السنة.

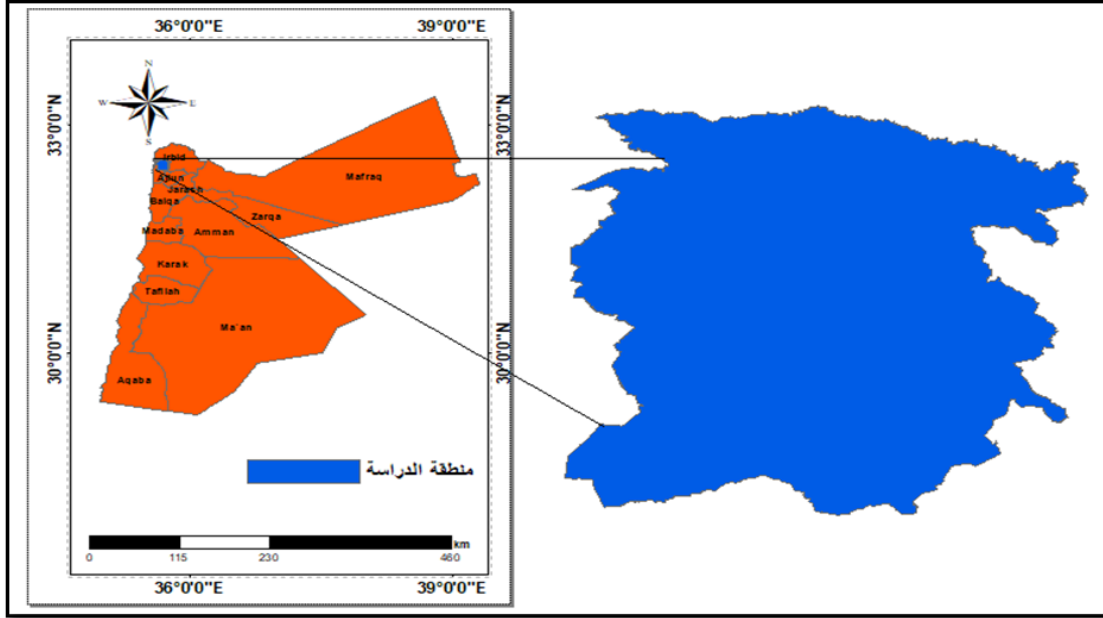
تقوم هذه الدراسة بتحليل الواقع المائي ورطوبة التربة في (لواء الكورة) من خلال تحليل عناصر الموازنة المائية، والتعرف على فترات (الفائض، والعجز) المائي باستخدام معادلة (ثورنثويت) لحساب التبخر الكامن، ثم استخدام الوسائل الحديثة، المتمثلة بنظم المعلومات الجغرافية؛ لإعداد الخرائط الموضوعية لنتائج عناصر الموازنة المائية والخصائص الطبيعية لمنطقة الدراسة، حيث تم الاعتماد على البيانات التي توفرها المحطات المناخية التابعة لدائرة الرصد الجوية، ووزارة المياه والري الأردنية، وأجراء التحليلات اللازمة، ودراسة أثر العناصر المناخية على الموارد المائية في (لواء الكورة).

8. الخصائص الطبيعية لمنطقة الدراسة:

1.8 الموقع:

تقع منطقة الدراسة في الجهة الشمالية الغربية من المملكة الأردنية الهاشمية، الشكل (1) بين خطي طول (35.609345 و 35.713057) شرقاً، وبين دائرتي عرض (32.389148 و 32.535144) شمالاً، وهي أحد ألوية محافظة (إربد)، ويقع في الجزء الجنوبي الغربي من محافظة (إربد) بمحاذاة وادي الأردن من الجهة الشرقية وجمال عجلون شمالاً. ويبعد عن مدينة (إربد) حوالي (25) كم. وتبلغ مساحة (لواء الكورة) 191.4 كم²، وتحتوي منطقة الدراسة على تنوع تضاريسي ما بين المرتفعات الجبلية، كجمال (برقش)، وسهول خصبة تخترقها عدة أودية

دائمة الجريان على مدار العام، وهي (الريان، ووادي أبو زياد، ووادي زقلاب، ووادي الطيبة وغيرها)، ويبلغ عدد سكانه 161505 ألف نسمة في عام 2020م، (دائرة الإحصاءات العامة، 2020م).



الشكل (1) موقع منطقة الدراسة في الأردن
المصدر عمل الباحثان بالاعتماد على برنامج Arc Map10.7

9. الخصائص الطبوغرافية:

يقدم التحليل الطبوغرافي معلومات مهمة عن منطقة الدراسة ويكون التحليل حيويًا في العديد من التطبيقات الجغرافية والبيئية، ويشمل الارتفاع، والانحدار، واتجاه السفوح (داود، 2012م).

1.9 الارتفاع:

يعدُّ نموذج الارتفاعات الرقمية حجر الأساس الذي يبنى فوقه تحليل السطوح الطبوغرافية، ويعرّف أنه: صورة نقطية كل بكسل فيها يحتوي على قيمة رقمية تمثل متوسط ارتفاع سطح الأرض في مساحة هذا البكسل (محمد، 2008). وبلغ أقل منسوب ارتفاع في (لواء الكورة) (205م) تحت مستوى سطح البحر، وأعلى منسوب (868م) فوق سطح البحر، الشكل (2).

2.9 الانحدار (slope):

يعني الانحدار: انحراف، أو ميل الأرض عن المستوى الأفقي، ويكون الانحدار كبيرًا كلما زاد الانحراف أو الميل (سلامة، 2004)؛ إذ يؤدي الانحدار الشديد لسطح الأرض إلى سرعة جريان أكبر في حالة وجود مياه سطحية (عبد اللطيف، 2017)، وتراوحت درجات الانحدار في منطقة الدراسة ما بين (0-57 درجة)، حيث تمّ تصنيفها إلى سبع فئات بناءً على تصنيف young, 1972 الشكل (3).

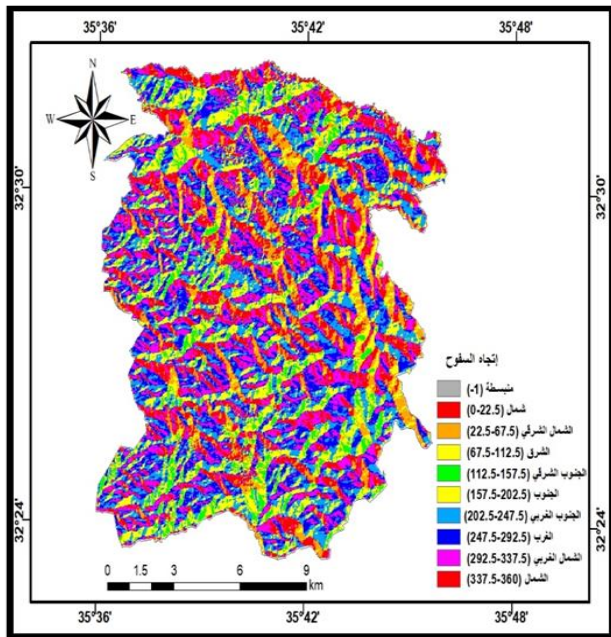
3.9 اتجاه السفوح (Aspect):

تعدُّ خرائط الأوجه أحد الطرق (الكارتوجرافية) لتمثيل تضاريس سطح الأرض، ويعرّف اتجاه السفوح أنه مقياس الاتجاه للحد الأقصى لمعدل التغير في سطح الأرض، ويحدد الاتجاه الأساسي

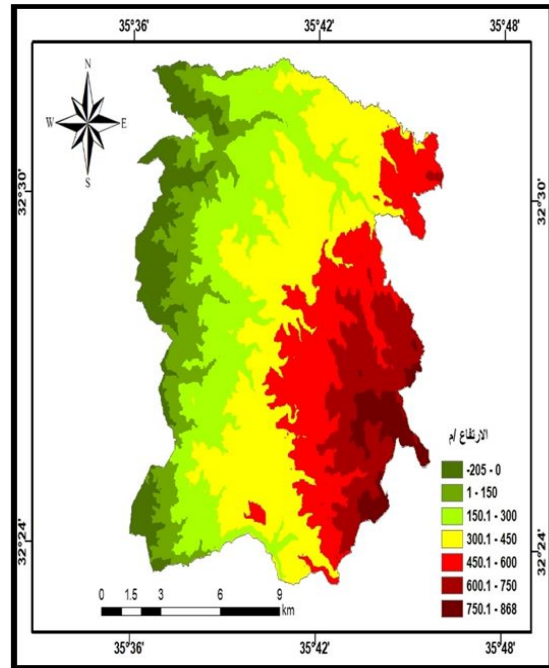
الذي يواجه منحدر معين، (حسن، 2015)، ويوضح الشكل (4) اتجاهات الانحدار في (لواء الكورة)، الذي تبرز أهميته في التخطيط للمشاريع الاقتصادية، والزراعية، وتحديد نقاط تجمع المياه، ومعرفة اتجاه جريان المياه في الأودية.

10. التربة:

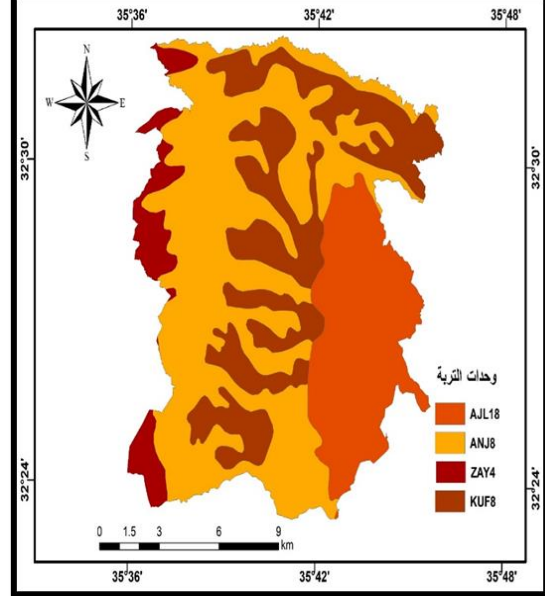
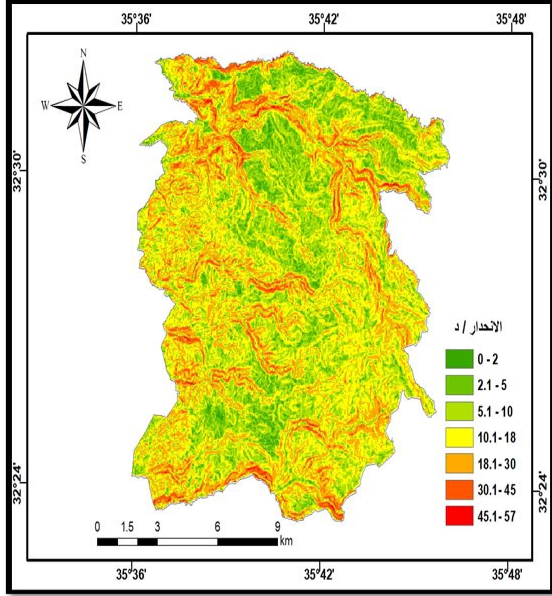
تتوزع في منطقة الدراسة 4 وحدات للتربة حسب تصنيف (Usda, 1993)؛ إذ تتباين في خصائصها، وتوزيعها الجغرافي، وتتأثر خصائص التربة بالعوامل الطبوغرافية التي بدورها تؤثر في نمو الغطاء النباتي، فتنتشر وحدة kuf8 فوق مناطق معتدلة الانحدار من منطقة الدراسة المكونة من الطفل والطين، وتنتشر فوقها الأراضي الزراعية، والمحاصيل الحقلية، وتنتشر تربة Anj8 على طول مجاري الأودية في (لواء الكورة)، وتتكوّن من (الطين والغرين)، وتنتشر على نطاق واسع من الأراضي الجرداء فوق المناطق الوعرة والمنحدرة، أما ترب Aji18 فتنتشر فوق الهضاب، والمنحدرات الوعرة، وتتكون من (الترب الصخرية، والغرين، والطين)، أما ترب Zay4 فتنتشر في المناطق التي يقل فيها منسوب الارتفاع عن سطح البحر، ويمتد على طول الجهة الغربية من منطقة الدراسة، وهي منطقة وعرة تتكون من الترب الصخرية، وترب مختلطة من (الغرين، والطين، والطفل، والصخور)، وتتركز في الأراضي الجرداء، ويبيّن الشكل (5) أصناف الترب في (لواء الكورة) حسب التصنيف الأمريكي.



الشكل (3) درجات الانحدار في لواء الكورة
المصدر عمل الباحثان اعتماداً على DEM



الشكل (2) مناسيب الارتفاعات في لواء الكورة
المصدر عمل الباحثان بالاعتماد على DEM



الشكل (5) أنواع التربة في (لواء الكورة)
المصدر: عمل الباحثان بالاعتماد على بيانات وزارة الزراعة الأردنية

الشكل (4) اتجاه السفوح في (لواء الكورة)
المصدر: عمل الباحثان بالاعتماد على DEM

11. منهجية الدراسة والبيانات المستخدمة:

اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي لوصف الظواهر والخصائص الطبيعية (للواء الكورة) من حيث (الموقع، والارتفاع، والانحدار، والاتجاه)، بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (Digital Elevation Model (DEM)، كما استخدمت معادلة (ثورنوويت) لإعداد الموازنة المائية للفترة الزمنية (1990م- 2020م) بالاعتماد على بيانات المحطات المناخية الواقعة ضمن حدود ومحيطها وهي (وادي الريان، والباقورة، وإربد، ورأس منيف)؛ حيث تمّ جمع البيانات المتعلقة بكمية الأمطار ودرجات الحرارة لهذه المحطات من سجلات ونشرات دائرة الأرصاد الجوية، وبيانات وزارة المياه والري لسنوات الدراسة، ثمّ قُدرت كميات الفاقد المائي بالتبخر، والناتج بواسطة معادلة (ثورنوويت)، ثمّ أُدخلت نتائج تطبيق هذه المعادلة إلى نظم المعلومات الجغرافية ARC MAP 10.7 من أجل إعداد الخرائط الموضوعية وتحقيق أهداف الدراسة.

1.11 طريقة إعداد الموازنة المائية (Water Balance Approach):

اعتمدت طريقة إعداد الموازنة المائية على البيانات المناخية من المحطات المناخية في منطقة الدراسة باستخدام نموذج (TM) لإعداد الموازنة المائية، وذلك باستخدام معادلة (ثورنوويت) المعدلة عام (1955م) التي تعتمد على استخدام (بيانات الحرارة، والأمطار، وخرائط التربة)؛ لتقدير الموازنة المائية، وحساب الجريان السطحي في منطقة الدراسة، ويمكن توضيح آلية حساب الموازنة المائية على النحو الآتي:

أولاً: حساب التبخر الكامن (TM) (Potential Evapotranspiration) من خلال المعادلة التالية:

$$PET = 1.6 \times C_x (10 \times T/I)^a \quad (\text{Thornthwait and Mather, 1957})$$

حيث تمثل (PET: mm month⁻¹) التبخر الكامن، (C Correction Factor) معامل التصحيح الشهري، ويمكن حساب معامل التصحيح الشهري من خلال القرينة التالية:

$$C = [m/30] \times [d/12]$$

حيث تمثل (m) عدد الأيام في كل شهر، (d) المعدل الشهري لعدد الساعات ما بين شروق الشمس وغروبها (عدد ساعات سطوع الشمس).

أما (I) فتتمثل قرينة الحرارة السنوية، ويتم احتسابها على النحو الآتي:

$$I = \sum i \quad \text{حيث تمثل } (i) \text{ قرينة الحرارة الشهرية ويتم احتسابها على النحو الآتي:}$$

$$i = (T/5)^{1.514} \quad \text{حيث تمثل } (T) \text{ معدل درجة الحرارة الشهرية (°م).}$$

أما (a) فتتمثل دالة القرينة الحرارية، ويتم احتسابها على النحو الآتي:

$$a = (6.75 \times 10^{-7} \times I^3) - (7.71 \times 10^{-5}) \times I^2 + (1.792 \times 10^{-2} \times I) + 0.49239$$

ثانياً: تقدير الفائض أو العجز المائي (P- PET):

حيث تمثل (p) معدل الأمطار الشهري (مم)، حيث يتم من خلال هذه المعادلة تقدير الفائض المائي (+) (Water surplus) أو العجز المائي (-) (Water Deficit).

ثالثاً: حساب تراكم عجز الرطوبة لكل شهر لـ (P-PET)، أو ما يسمى الفاقد المحتمل المتراكم للرطوبة (APWL) (Accumulated Potential Wetness Loss). وتكون قيمة (APWL) صفراً في الشهور الموجبة لـ (P-PET)، وتبدأ عملية احتساب قيمة (APWL) مع بداية القيم السالبة بـ (P-PET) أي بحلول شهور الجفاف.

رابعاً: حساب المخزون الحقيقي للرطوبة في التربة (SM) (The Actual Storage of Soil Moisture) حيث يتم احتسابها لكل شهر من خلال المعادلة التالية:

$$SM = AWC \times e^{(APWL / AWC)}$$

حيث تمثل: (e) قيمة ثابتة وتساوي (2,78)، (AWC) السعة المائية المتاحة في التربة.

وبالتالي حساب التغير في رطوبة التربة من خلال المعادلة التالية:

$$\Delta SM(\text{month}) = SM(\text{month}) - SM(\text{previous month})$$

ويمكن حساب التبخر الحقيقي (AET) (The Actual Evapotranspiration) على النحو الآتي:

$$AET = PET \quad (\Delta SM > 0)$$

$$AET = \Delta SM + P \quad (\Delta SM < 0)$$

خامساً: حساب العجز المائي (The Water Deficit):

حيث تمّ حساب العجز المائي للأشهر التي كان الفرق بين التبخر الكامن (ملم)، ومجموع الأمطار الشهري (ملم) سالباً ($P - PET < 0$) من خلال المعادلة التالية:

$$DEF = PET - AET$$

كما يمكن حساب الفائض المائي: (The Water Surplus) من خلال المعادلة التالية:

$$SUR = P - PET$$

حيث يتمّ حساب الفائض للشهور التي تتساوى فيها قيم رطوبة التربة مع السعة الحقلية المتاحة، أما الشهور التي لا تتساوى فيها رطوبة التربة مع السعة الحقلية فإنّها تعاني من عجز مائي.

سادساً: حساب الجريان المائي: (Water Runoff) حيث تمّ احتساب الجريان المائي من خلال الخطوات التالية:

(1) متوسط الجريان المائي (Average Runoff): حيث يتمّ احتساب متوسط الجريان المائي لشهر كانون الثاني على النحو الآتي:

$$Av. Runoff Month = Sur(month) + Sur(previous Month)$$

(2) أما لباقي الأشهر فيتمّ احتساب متوسط الجريان المائي على النحو الآتي:

$$Av. Run off month = Av. Runoff previous month + Sur(month)$$

أما الجريان المائي لكل شهر فيتمّ احتسابها على النحو الآتي:

$$Av. Runoff month / 2 Runoff month =$$

(3) والجزء المتبقي من الماء إمّا أن يتعرض للتسرب إلى باطن الأرض، أو يتمّ احتجازه في التربة ويمكن التعبير عنه بالمعادلة التالية:

$$Detention water = A.v Run off month - Run off month (Thorntwaite and mather, 1957)$$

12. التحليل والمناقشة:

1.12 التساقط:

تعدّ الهطولات المطرية من أكثر الموارد الطبيعية أهمية في البيئات الجافة وشبه الجافة، ومن أهم العناصر المناخية التي تؤثر في النظام (الهيدرولوجي)؛ إذ تمّ الاعتماد على المحطات المناخية الممثلة لمنطقة الدراسة لتحديد حجم التساقط على المنطقة، واختلفت نسبة الامطار في منطقة الدراسة من مكان لآخر للفترة الزمنية (1990م-2020م)؛ حيث بلغت أعلى كمية للتساقط في محطة (رأس منيف) الواقعة في الجنوب الشرقي من منطقة الدراسة (574.4 ملم)، كما وجد أنّ أقلّ معدلات للأمطار في محطة (وادي الريان) الواقعة في الجنوب الغربي من منطقة الدراسة وبلغ (295 ملم)، ويبين الجدول متوسط معدل الامطار الشهرية والسنوية (ملم) للمحطات المناخية الممثلة لمنطقة الدراسة للفترة الزمنية (1900م-2020م).

الجدول (1): متوسط معدل الامطار الشهرية والسنوية (ملم) للمحطات المناخية الممثلة لمنطقة الدراسة للفترة الزمنية (1900-2020).

المحطة	كانون ثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزير ن	تموز	أب	أيلول	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الأول	المعدل السنوي
إربد	105.5	103.6	64.5	20.6	5.8	0.9	0	0	0.8	14.3	43	88.5	447.63
رأس منيف	137.8	132.1	82.3	23.1	7.5	0.9	0	0	1.6	19.9	59.3	109.9	574.4
الباقورة	98.8	75.6	42.9	18.3	7.4	0.29	0	0	1.1	16.8	38.9	87.1	387.2
الريان	72.1	64.6	27.6	15.6	4.3	0.06	0	0	0.2	16.2	29.6	64.8	295

المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على بيانات الأرصاد الجوية

يبين الجدول (1) أن الموسم المطري في منطقة الدراسة يبدأ في نهاية أيلول وبداية تشرين الأول، وينتهي في شهر أيار، كما يلاحظ أن كمية الأمطار الهائلة على محطة (رأس منيف) تفوق المحطات جميعها، واستحوذ الشتاء على أعلى نسبة من التساقط وبلغت (67%) من مجموع التساقط السنوي، كما سجل أعلى معدل للأمطار في كانون الثاني في المحطات المناخية جميعها الممثلة لمنطقة الدراسة (إربد، رأس منيف، الباقورة، الريان) وبلغ (105.5، 137.8، 98.8، 72.1 ملم) على التوالي وبنسبة بلغت (24.3%) من مجموع التساقط السنوي، في حين سجل أدنى معدل للتساقط المطري في شهر أيلول، فقد بلغ (0.8، 1.6، 1.1، 0.2 ملم) للمحطات المناخية نفسها على التوالي، بنسبة (0.22%) من مجموع التساقط السنوي، الشكل (6).

2.12 درجة الحرارة:

تعد درجة الحرارة من أهم العناصر التي تدخل في عملية إعداد الموازنة المائية؛ لما لها أثر كبير في عملية التبخر/النتح الكامن الذي يعد من أكثر عناصر الفقد المائي؛ بالتالي تحديد كميته من خلال العلاقة بين كمية التساقط ودرجة الحرارة، وشهدت منطقة الدراسة تبايناً في متوسط معدلات درجات الحرارة السنوية من مكان إلى آخر خلال الفترة الزمنية (1990م-2020م)؛ إذ تزداد في المناطق الغربية القريبة في من (الأغوار الشمالية)، حيث سجلت أعلى القيم في كل من محطتي (الريان، والباقورة)، وبلغت (23.3، 23 درجة مئوية) على التوالي؛ ويرجع السبب في ذلك إلى انخفاض ارتفاع تلك المحطتين عن مستوى سطح البحر، وتنخفض في المناطق الشرقية، حيث سجلت أدنى قيم لها في كل من محطتي (إربد، ورأس منيف)، وبلغت (18.9 و 15 درجة مئوية)، ويعود السبب إلى ارتفاع تلك المحطتين عن مستوى سطح البحر، الجدول (2).

الجدول (2): معدل متوسط درجة الحرارة الشهرية والسنوية (درجة مئوية) للفترة الزمنية (1990-2020) للمحطات المناخية الممثلة لمنطقة الدراسة.

المحطة	كانون ثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزير ن	تموز	أب	أيلول	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الأول	المعدل السنوي
إربد	9.6	10.7	13.7	17.5	21.7	24.7	26.4	26.9	25.1	22.2	16.3	11.7	18.9
رأس منيف	5.7	6.6	9.6	13.7	18	20.8	22.6	22.8	21.3	18.6	12.8	8	15
الباقورة	13.7	14.6	17.4	21.5	25.6	29	31	31.5	29.3	25.9	20.6	15.4	23
الريان	13.5	14.7	17.9	21.8	26.2	29.4	31.9	32.1	30.1	26.3	20.2	15.3	23.3

المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على بيانات الأرصاد الجوية

يبين الجدول (2) الفرق في معدل درجة الحرارة الشهري للمحطات المناخية الممثلة لمنطقة الدراسة؛ حيث سجلت محطة (وادي الريان) الواقعة في الجنوب الغربي أعلى درجات الحرارة

في فصل الصيف خلال شهر تموز وآب وبلغت (32.1، 31.9، درجة مئوية) على التوالي، بينما في محطة (إربد) الواقعة في الشمال الشرقي ومحطة (رأس منيف) الواقعة في الجنوب الشرقي من منطقة الدراسة بلغ معدل درجة الحرارة لنفس الفترة في كلا المحطتين (26.4، 22.6 درجة مئوية) في شهر تموز و(26.9، 22.8 درجة مئوية) في شهر آب على التوالي، وبلغ معدل درجة الحرارة لأبرد الشهور في فصل الشتاء للفترة الزمنية نفسها في محطتي (إربد ورأس منيف) في شهر كانون الثاني وشهر شباط (9.6، 5.7، 10.7، 6.6 درجة مئوية) على التوالي، بينما بلغ معدل درجة الحرارة في محطتي (الباقورة، والريان) للأشهر نفسها (13.7، 13.5، 14.6، 14.7 درجة مئوية)، كما نلاحظ ارتفاع معدل درجة الحرارة في فصل الصيف (حزيران، تموز، آب) في محطات منطقة الدراسة جميعها للفترة الزمنية (1990-2020)، وبلغت في محطة (إربد) (24.7، 26.4، 26.9 درجة مئوية) على التوالي، أما في محطة (رأس منيف) فقد بلغت (20.8، 22.6، 22.8 درجة مئوية) على التوالي للأشهر نفسها، وبلغت في محطة (الباقورة) (29، 31، 31.5 درجة مئوية) على التوالي، أما في محطة (الريان) فقد بلغت (29.4، 31.9، 32.1 درجة مئوية) على التوالي وللأشهر نفسها، وسجل شهر آب أعلى المعدلات في المحطات المناخية جميعها نتيجة التراكم الحراري خلال فصل الصيف، إن ارتفاع معدلات درجات الحرارة صيفاً يتمثل تأثيرها هيدرولوجياً في ارتفاع معدلات التبخر في أشهر الصيف؛ بالتالي زيادة الضائعات المائية، في حين تنخفض درجة الحرارة في فصل الشتاء؛ ويؤدي هذا إلى خفض نسبة التبخر، بالتالي قلة الضائعات المائية في المنطقة، الشكل (7).

3.12 التبخر والنتح الكامن:

ويقصد به كمية المياه المفقودة من المسطحات المائية، أو من الترب المشبعة بالمياه، وتتأثر كمية التبخر بنوعية التربة، وكمية المياه الموجودة فيها، وبالنباتات، (المصاروة، 2015)، ويزداد التبخر والنتح الكامن في منطقة الدراسة في فصل الصيف، وبلغ أعلى معدل خلال الفترة الزمنية (1990م-2020م) في محطتي (وادي الريان والباقورة) (1755.1، 1651.5 ملم)؛ ويعود السبب في ذلك إلى ارتفاع درجات الحرارة، وانخفاض المحطتين عن مستوى سطح البحر. بينما يقل التبخر والنتح الكامن حتى بلغ أدنى معدل له (858.4، 1099.7) في محطتي (رأس منيف وإربد) على التوالي؛ بسبب الارتفاع عن مستوى سطح البحر وانخفاض درجات الحرارة، الجدول (3).

الجدول (3): نتائج التبخر/النتح الكامن للمحطات المناخية الممثلة لمنطقة الدراسة

المحطة	كانون ثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الأول	المعدل السنتوي
إربد	13.1	16.9	35.4	65.2	125.1	179.2	193.5	188.1	132.8	92.6	38.3	19.5	1099.74
رأس منيف	9.5	12.2	27.4	53.7	100.4	139	148.1	141.9	102.9	75.1	32.8	15.9	858.4
الباقورة	16.5	20.6	42.3	86.8	176	276.4	315	311	203.3	129	51.7	22.7	1651.5
الريان	14.7	20	44.6	88.3	187.5	290.6	348	335.3	222.5	134.3	48.3	21	1755.1

المصدر عمل الباحثين بالاعتماد على معادلة (ثونوثويت)

يبين الجدول (3) أنَّ العلاقة بين التبخر والتساقط علاقة عكسية؛ حيث سجل أدنى معدل شهري للتبخر/النتح الكامن في فصل الشتاء (كانون الأول والثاني، وشباط)؛ إذ ينخفض معدل درجة الحرارة لهذه الأشهر ويرتفع التساقط، وبلغت نسبته لهذا الفصل (3.03%) من المجموع

السنوي، و(1.47%) في شهر كان الأول من المجموع السنوي، وتنخفض نسبته في بقية الأشهر، وكان أدناها في شهر كانون الثاني، حيث بلغت (1%) من المجموع السنوي، في حين ارتفعت قليلاً في شهر شباط، حيث وصلت إلى (1.29%)، أما علاقة التبخر بالحرارة فهي علاقة طردية؛ إذ كلما ارتفعت درجات الحرارة ازدادت معدلات التبخر، حيث سجل ارتفاعاً واضحاً في فصل الصيف (حزيران، تموز، آب) وشكل ما نسبته (53.4%) من المجموع السنوي للتبخر، وكان أعلاها في شهر تموز، حيث بلغت (18.7%)، أما في فصلي (الربيع، والخريف) فقد بلغت معدلات التبخر (19.2%، 23.5%) على التوالي من المجموع السنوي للتبخر، وتتميز الأجزاء العليا القريبة من محافظتي (عجلون، وإربد) الواقعة في الجزء الشرقي والجنوب الشرقي من المنطقة التي تمتاز بارتفاع مناسب عن مستوى سطح البحر بانخفاض معدلات التبخر/النتج الكامن للفترة الزمنية (1990م-2020م) عن بقية أجزاء المنطقة، وتمثلها محطة (إربد، ورأس منيف)، وتبدأ بالتزايد تدريجياً في وسط المنطقة حتى تبلغ أعلى قيمة لها في المناطق الغربية التي تمثلها محطة (الباقورة، والريان)، وأكثر تركيزاً في الجنوب الغربي القريب من (غور الأردن)، الشكل (8).

4.12 حساب الفرق بين معدلات الأمطار والتبخر الكامن (P-PET):

بعد أن تمّ حساب التبخر الكامن لمنطقة (لواء الكورة) لا بد من تقدير (P - PET)، وذلك من أجل تقدير الفائض المائي (+) (Water Excess)، والعجز المائي (-) (Water Deficit)، فإذا كانت المياه الهائلة أكبر من التبخر فهذا يدل على أن التربة وصلت إلى سعتها الحقلية، ويجري الفائض على شكل جريان، أما إذا كانت المياه الهائلة أقل من التبخر؛ فإن ذلك يعني حدوث عجز في رطوبة التربة، وتصبح النباتات بحاجة إلى المياه، (شحادة، 1983).

5.12 تقدير رطوبة التربة:

ترتبط رطوبة التربة (بكمية الأمطار، وتوزيعها، ودرجة الحرارة، والتبخر)، وتحدد رطوبة التربة من كمية الأمطار، والمياه المفقودة بالتبخر والجريان، وإن ارتفاع درجة الحرارة يزيد من معدلات التبخر/النتج؛ مما يقلل من رطوبة التربة (غانم، 2018)، ويعتمد محتوى رطوبة التربة على نوع التربة ونسجها، ومدى عمقها، ويؤثر هذا العنصر في الجريان السطحي، وتغذية المياه الجوفية اللذين يمثلان مخرجات عناصر الموازنة المائية، فلا يتحقق الجريان السطحي، أو التغذية الجوفية إلا بعد تشبع التربة؛ أي وصول معدل ترشيحها للمياه إلى أدنى مستوياته في الوقت الذي تكون فيه سعة الترشيح في أعلى مستوياتها، (Famiglitti et.al, 1998).

6.12 التبخر الحقيقي:

هو عبارة عن كمية المياه المفقودة من التربة والنباتات في حالة رطوبتها الطبيعية، وهو في الغالب أقل من أو يساوي التبخر/النتج المحتمل (Sentelhas & et al, 2008)، وتمّ حساب قيم التبخر الحقيقي، وبلغ أعلى معدل سنوي له خلال الفترة الزمنية (1990م-2020م) في محطتي (وادي والريان والباقورة) (397.7، 384.8 ملم)، بينما يقل التبخر الحقيقي في باقي المحطات المناخية؛ حيث بلغ أدنى معدل له (345.6، 363.7 ملم) في محطتي (رأس منيف، وإربد) على التوالي، الجدول (4).

الجدول (4): نتائج قيم التبخر الحقيقي للمحطات المناخية الممثلة لمنطقة الدراسة

المحطة	كانون ثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الأول	المعدل السني
إربد	13.1	16.9	35.4	61.4	78.5	52.6	21.8	8	3.1	15.1	38.3	19.5	363.7
رأس منيف	9.5	12.2	27.4	52.1	72.3	54.8	27.9	12.7	6.4	21.7	32.8	15.9	345.6
الباقورة	16.5	20.6	42.3	77.4	88.8	45.3	11.6	2.3	1.5	16.9	51.7	22.7	397.7
الريان	14.7	20	44.6	77.6	88.1	41.9	10.2	2	0.5	16	48.3	21	384.8

المصدر عمل الباحثين بالإعتماد على معادلة ثونوثويت

يبين الجدول (4) أن التبخر الحقيقي السنوي يقل في فصل الشتاء (كانون الأول والثاني، وشباط)؛ إذ ينخفض معدل درجة الحرارة لهذه الأشهر ويرتفع التساقط، وبلغت نسبته لهذا الفصل (13.5%) من المجموع السنوي، وتبلغ نسبته في شهر كانون الثاني إلى (3.6%)، في حين ارتفعت قليلاً في شهر شباط، حيث وصلت إلى (4.6%)، أما في فصل الربيع (آذار، نيسان، أيار) يسجل التبخر الحقيقي أعلى القيم إذ تبلغ نسبته (50%) من المجموع السنوي، ويكون أعلاها من هذا الفصل في شهر نيسان بنسبة (17%) من المجموع السنوي، أما في فصل الصيف (حزيران، تموز، آب) يبدأ بالتناقص، ويشكل ما نسبته (19.5%) من المجموع السنوي للتبخر، وكان أعلاها في شهر حزيران، وبلغت (13%) من المجموع السنوي، أما في فصل الخريف فقد بلغت معدلات التبخر (16.9%)، وكان أعلاها في شهر تشرين الثاني بنسبة (11.4%) من المجموع السنوي للتبخر، ومن حيث التوزيع المكاني نلاحظ أن الأجزاء العليا القريبة من محافظتي (عجلون، وإربد) الواقعة في الجزء الشرقي والجنوب الشرقي من المنطقة التي تمتاز بارتفاع مناسيبها عن مستوى سطح البحر تقل فيها معدلات التبخر/النتج الحقيقي للفترة الزمنية (1990م-2020م) عن بقية أجزاء المنطقة، وتمثلها محطة (إربد، ورأس منيف) وتبدأ بالتزايد تدريجياً في وسط المنطقة حتى تبلغ أعلى قيمة لها في المناطق الغربية التي تمثلها محطة (الباقورة والريان)، وأكثر تركيزاً في المناطق الجنوبية القريبة من (غور الأردن)، الشكل (9).

7.12 العجز المائي (Water deficit):

يعبر العجز المائي عن الفارق بين التساقط والتبخر/النتج الكامن، فإذا كان الناتج بالسالب سيدل ذلك على وجود عجز مائي، أما إن كان بالموجب فسيدل ذلك على وجود فائض مائي في تلك المنطقة، ويعبر العجز المائي عن الفرق بين التبخر/النتج الكامن والتبخر/النتج الحقيقي ويكون التبخر/النتج الحقيقي أكبر من التبخر/النتج الكامن في حالة العجز المائي (درويش، 2012). اتضح من خلال تقدير قيمة العجز المائي أن المحطات المناخية جميعها الممثلة (للواء الكورة) تعاني من عجز مائي للفترة الزمنية (1990م-2020م) حيث يتفاوت من مكان إلى آخر بين أجزاء المنطقة، حيث سجل أعلى معدل للعجز المائي في محطتي (وادي الريان، والباقورة) وبلغ (1370.2، 1253.7 ملم) على التوالي، وكان أقل المعدلات في محطتي (رأس منيف، وإربد) وبلغ (512.8، 736 ملم) على التوالي، الجدول (5).

الجدول (5): نتائج العجز المائي للمحطات المناخية الممثلة لمنطقة الدراسة

المحطة	كانون ثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	أب	أيلول	تشرين الاول	تشرين الثاني	كانون الاول	المعدل السنوي
إربد	0	0	0	3.8	46.6	126.6	171.6	180.1	129.7	77.6	0	0	736
رأس منيف	0	0	0	1.6	28.1	84.1	120.2	128.9	96.5	53.4	0	0	512.8
الباقورة	0	0	0	9.4	87.2	231.1	303.4	308.7	201.8	112.1	0	0	1253.7
الريان	0	0	0	10.6	99.4	248.8	337.8	333.4	222	118.3	0	0	1370.2

المصدر عمل الباحثين بالاعتماد على معادلة ثونوثويت

يبين الجدول (5) أنَّ المحطات المناخية جميعها الممثلة لمنطقة الدراسة تعاني من عجز مائي للفترة الزمنية (1990م - 2020م) في أشهر السنة جميعها باستثناء أشهر فصل الشتاء (كانون الأول والثاني، وشباط) إضافة إلى شهر (آذار من فصل الربيع، وتشرين الثاني من فصل الخريف)، حيث يبدأ العجز المائي في المحطات المناخية من شهر نيسان ويستمر حتى تشرين الأول، وسجل أعلى معدل للعجز المائي في شهر آب بنسبة (38%) من المجموع السنوي في المحطات المناخية جميعها باستثناء محطة (وادي الريان)، حيث سجلت أعلى معدل في شهر تموز، وبلغ (337.8 ملم) بنسبة (24.6%) من المجموع السنوي، وبشكل عام سجلت أشهر الصيف (حزيران، تموز، آب) أكثر معدلات للعجز المائي بما نسبته (66.48%) من المجموع السنوي، وسجل أدنى معدل للعجز المائي للمحطات المناخية جميعها في شهر نيسان، بنسبة بلغت (0.65%) من المجموع السنوي، أما من حيث التوزيع المكاني نلاحظ أنَّ الأجزاء العليا القريبة من محافظتي (عجلون، وإربد) الواقعة في الجزء الشرقي والجنوب الشرقي من المنطقة التي تمتاز بارتفاع مناسب عن مستوى سطح البحر، تقل فيها معدلات العجز المائي للفترة الزمنية (1990م-2020م) عن بقية أجزاء المنطقة، وتمثلها محطة (إربد، ورأس منيف)، وتبدأ بالتزايد تدريجياً في وسط المنطقة حتى تبلغ أعلى قيمة لها في المناطق الغربية التي تمثلها محطة (الباقورة، والريان)، وأكثر تركيزاً في مناطق الجنوب الغربي القريبة من (غور الاردن)، الشكل (10).

8.12 الفائض المائي:

يحدث الفائض المائي عندما تزيد كمية الأمطار الساقطة عن كمية التبخر/النتح الكامن، فتأخذ التربة كمية من المياه لتصل درجة التشبع، والجزء المتبقي من مياه الأمطار يجري على سطح الأرض، أو يتسرب إلى باطن الأرض ليغذي المياه الجوفية؛ ففي الشهور التي تكون فيها قيم رطوبة التربة مساوياً لسعتها الحقلية المتاحة يبدأ الفائض المائي، كما تعكس مناطق شديدة التبخر/النتح الفعلي مدى الفائض المائي فيها، فإذا انخفضت معدلات التبخر، وازدادت معدلات التساقط، أدى ذلك إلى قلة الفاقد المائي بالتالي فائض مائي؛ بذلك يكون هناك تأثير إيجابي في النظام (الهيدرولوجي)، والعكس صحيح في حال ارتفاع معدلات التبخر عن معدلات التساقط المطري، وبعد تقدير قيمة الفائض المائي اتضح أنَّ المحطات المناخية جميعها الممثلة (للواء الكورة) تشهد فائضاً مائياً في فصل الشتاء للفترة الزمنية (1990م-2020م)، وسجل أعلى معدل للفائض المائي في محطتي (رأس منيف، وإربد)، وبلغ (423.7، 281.9 ملم) على التوالي، وكان أقلها في محطتي (الريان، والباقورة) وبلغ (145.9، 202.3 ملم) على التوالي، الجدول (6).

الجدول (6): نتائج قيم الفائض المائي للمحطات المناخية الممثلة لمنطقة الدراسة

المحطة	كانون ثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الأول	المعدل السنوي
إربد	92.4	86.7	29.1	0	0	0	0	0	0	0	4.8	69	281.9
رأس منيف	128.4	119.9	55	0	0	0	0	0	0	0	26.3	94.1	423.7
الباقورة	82.2	55.1	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	64.4	202.3
الريان	57.4	44.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43.8	145.9

المصدر عمل الباحثين بالاعتماد على معادلة ثونوثويت

يبين الجدول (6) أنَّ الفائض المائي يتراوح ما بين خمسة إلى أربعة أشهر، ويكون في الأشهر التالية (تشرين الثاني، كانون الأول، كانون الثاني، شباط، آذار) لمحطتي (إربد ورأس منيف)، أما في محطتي (الباقورة، والريان) فقد شهدت فائضاً للأشهر نفسها باستثناء شهر تشرين الثاني، وشكل الفائض المائي لجميع المحطات في الأشهر (كانون الثاني، كانون الأول وشباط) ما نسبته (89%) من المعدل السنوي، وسجل أعلى فائض في شهر كانون الثاني بما نسبته (34%) من المعدل السنوي، ثم يليه شهر شباط بنسبة بلغت (29%) من المعدل السنوي، وتبين أنَّ الأجزاء العليا القريبة من محافظتي (عجلون، وإربد) الواقعة في الجزء الشرقي والجنوب الشرقي من المنطقة التي تمتاز بارتفاع مناسب عن مستوى سطح البحر تزداد فيها معدلات الفائض المائي للفترة الزمنية (1990م-2020م) عن بقية أجزاء المنطقة، وتمثلها محطة إربد ورأس منيف وتبدأ بالتناقص تدريجياً في وسط المنطقة حتى تبلغ أقل قيمة لها في المناطق الغربية والتي تمثلها محطة (الباقورة و الریان) وأكثر تركيزاً في مناطق الجنوب الغربي القريبة من غور الأردن، الشكل (9).

9.12 الجريان السطحي:

يعدُّ الجريان المائي من عناصر الدورة (الهيدرولوجية) الهامة، وتختلف كميته ونسبته من مكان إلى آخر تحت تأثير عدة عوامل، تشمل (الشدة المطرية، رطوبة التربة، الانحدار وطبيعة الغطاء النباتي)، (خوري، 2007)، أما بالنسبة للجريان المائي في (لواء الكورة) تبين وجود جريان سطحي في المنطقة لا يقل عن أربعة أشهر، وكانت أعلى قيم للجريان السطحي للفترة الزمنية (1990م-2020م) في محطتي (رأس منيف، وإربد)، حيث بلغت (369.9 ، 246.1 ملم) على التوالي، أما أدنى القيم فكانت في محطتي (الباقورة، والريان)، وبلغت (170، 123.9 ملم) على التوالي، الجدول (7).

الجدول (7): نتائج الجريان المائي للمحطات المناخية الممثلة لمنطقة الدراسة

المحطة	كانون ثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الأول	المعدل السنوي
إربد	46.2	66.4	47.8	23.9	11.9	6	3	1.5	0.7	0.4	2.6	35.8	246.1
رأس منيف	64.2	92.1	73.5	36.8	18.4	9.2	4.6	2.3	1.1	0.6	13.4	53.8	369.9
الباقورة	41.1	48.1	24.3	12.2	6.1	3	1.5	0.8	0.4	0.2	0.1	32.2	170
الريان	28.2	36.7	18.3	9.2	4.6	2.3	1.1	0.6	0.3	0.1	0.1	21.9	123.9

المصدر عمل الباحثين بالاعتماد على معادلة ثونوثويت

يبين الجدول (7) تباين في كمية الجريان الشهري في المنطقة؛ إذ سجل أعلى كمية للجريان الشهري للمدة (1990 م-2020م) للمحطات جميعها في أشهر (كانون الثاني، شباط، كانون الأول)؛ إذ تشكل نسبة (19.7، 26.7، 15.7 %) من المجموع السنوي على التوالي، وكان أعلاها في شهر شباط، ويعود ارتفاع نسبة الجريان في هذه الأشهر إلى زيادة التساقط المطري فيها؛ بالتالي زيادة كمية المياه الجارية، ويبدأ التناقص في كمية الجريان في شهر نيسان، ويستمر بالانخفاض في بقية الأشهر حتى ينعدم الجريان في فصل الصيف؛ إذ ترتفع درجات الحرارة، وتزداد معدلات التبخر، ويقل التساقط، كما أن الأجزاء العليا القريبة من محافظتي (عجلون، وإربد) الواقعة في الجزء الشرقي، والجنوب الشرقي من المنطقة التي تمتاز بارتفاع مناسيبها عن مستوى سطح البحر، تزداد فيها معدلات الجريان المائي للفترة الزمنية (1990م-2020م) عن بقية أجزاء المنطقة، وتمثلها محطة (إربد، ورأس منيف) وتبدأ بالتناقص تدريجياً في وسط المنطقة حتى تبلغ أقل قيمة لها في المناطق الغربية التي تمثلها محطة (الباقورة، والريان) وأكثر تركيزاً في مناطق الجنوب الغربي القريبة من (غور الاردن)، الشكل (11).

10.12 التسرب:

عندما تتساقط الأمطار يجري جزء منها على شكل جريان سطحي، كما أن جزءاً منها يتبخر، ويصعد إلى طبقات الجو العليا، والجزء الآخر يرتشح، ويتسرب إلى أعماق الأرض، ويغذي المياه الجوفية عبر (مسامات، وشقوق التربة، والصخور)، وتختلف سعة الرشح من منطقة إلى أخرى، حيث تشهد المناطق ذات الانحدار القليل زيادة في توغل المياه إلى داخل التربة؛ نتيجة بطء سرعة الجريان في هذه المناطق؛ مما يؤدي إلى زيادة رطوبة التربة بالتالي التسرب إلى أعماق كبيرة، (الشخيلي، 2005). أما في (لواء الكورة) تبين وجود تسرب مائي في المنطقة مدة أربعة أشهر (كانون الثاني، شباط، تشرين الثاني و كانون الأول) في محطتي إربد ورأس منيف وثلاثة أشهر (كانون الثاني، شباط و كانون الأول) في محطتي الباقورة ووادي الريان وكانت أعلى قيم للتسرب للفترة الزمنية (1990-2020م) في محطتي (رأس منيف، وإربد)، حيث بلغت (145.3، 101.9 ملم) على التوالي، أما أدنى القيم فكانت في محطتي (الباقورة والريان)، وبلغت (80.2، 58.5 ملم) على التوالي، الجدول (8).

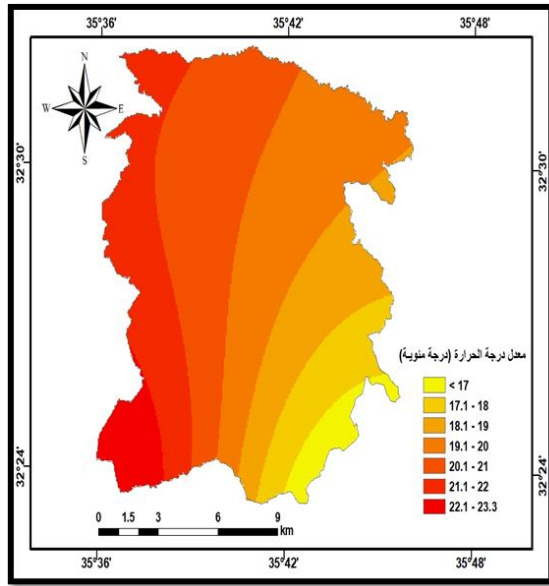
الجدول (8): نتائج قيم التسرب المائي للمحطات المناخية الممثلة لمنطقة الدراسة

المحطة	كانون ثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	أب	أيلول	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الأول	المعدل السنوي
إربد	46.2	20.3	0	0	0	0	0	0	0	0	2.2	33.2	101.9
رأس منيف	64.2	27.9	0	0	0	0	0	0	0	0	12.9	40.3	145.3
الباقورة	41.1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32.1	80.2
الريان	28.7	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21.9	58.5

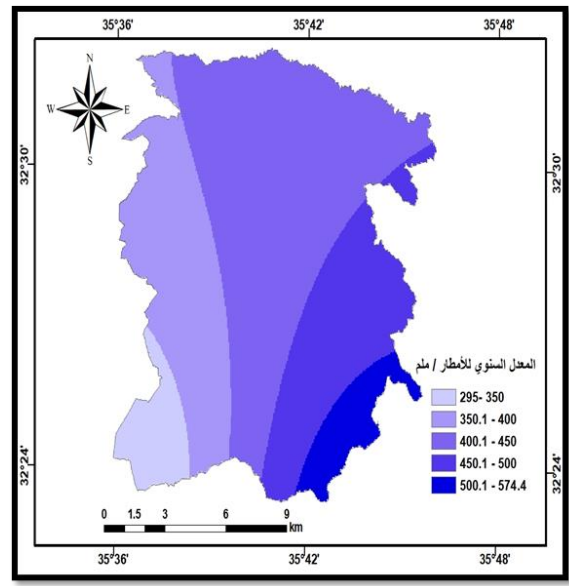
المصدر عمل الباحثين بالاعتماد على معادلة (ثونوثيت)

يبين الجدول (8) تبايناً في كمية التسرب الشهري في المنطقة؛ إذ سجل أعلى كمية للتسرب الشهري للفترة الزمنية (1990-2020م) للمحطات جميعها في أشهر (كانون الثاني، وشباط، و كانون الأول) وكان أعلاها في شهر كانون الثاني؛ إذ تشكل نسبة (46.6، 16.4، 33%) على التوالي من المجموع السنوي، ويعود ارتفاع نسبة التسرب في هذه الأشهر إلى زيادة التساقط المطري فيها؛ بالتالي زيادة رطوبة التربة والارتشاح، ويبدأ التناقص في كمية التسرب في شهر

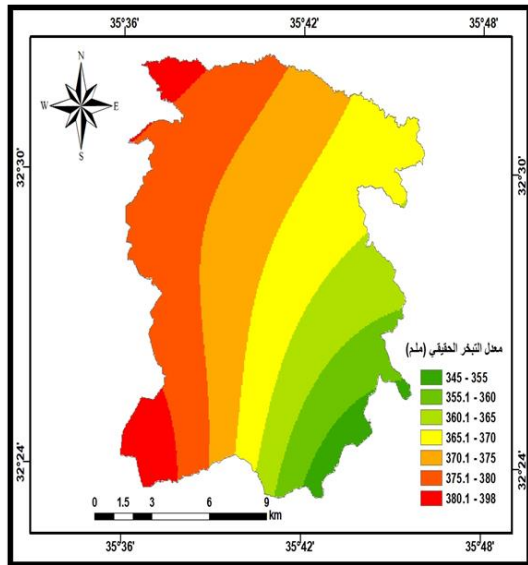
شباط، ويستمر بالانخفاض، وينعدم في بقية الأشهر باستثناء شهر تشرين الثاني؛ حيث يحدث فيه تسرب بنسبة قليلة جداً وتبلغ (3.9%) من المجموع السنوي، إنَّ الأجزاء العليا القريبة من محافظتي (عجلون، وإربد) الواقعة في الجزء الشرقي، والجنوب الشرقي من المنطقة التي تمتاز بارتفاع مناسيبها عن مستوى سطح البحر، تزداد فيها معدلات التسرب المائي للفترة الزمنية (1990م-2020م) عن بقية أجزاء المنطقة، وتمثلها محطة (إربد، ورأس منيف)، وتبدأ بالتناقص تدريجياً في وسط المنطقة حتى تبلغ أقل قيمة لها في المناطق الغربية التي تمثلها محطة (الباقورة، والريان) وأكثر تركيزاً في مناطق الجنوب الغربي القريبة من (غور الاردن)، الشكل (12).



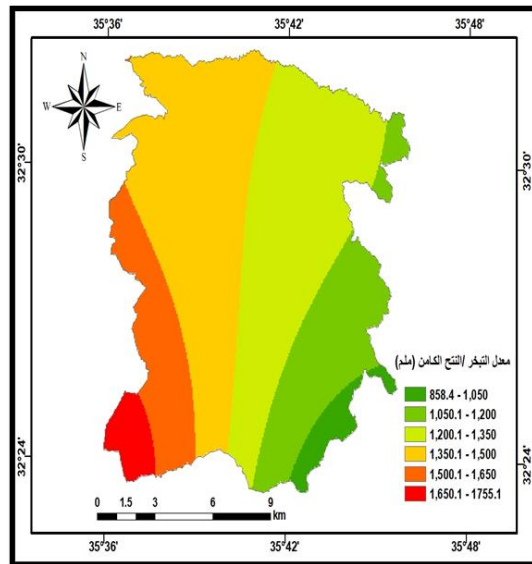
الشكل (6) معدل متوسط درجة الحرارة السنوية (متوسطة) في (لواء الكورة)



الشكل (5) المعدل السنوي للأمطار في (لواء الكورة)

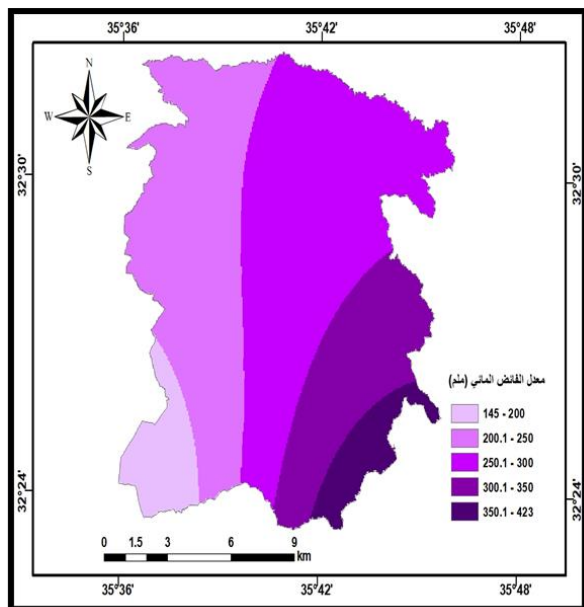


الشكل (8) التوزيع المكاني لمعدلات التبخر في لواء الكورة

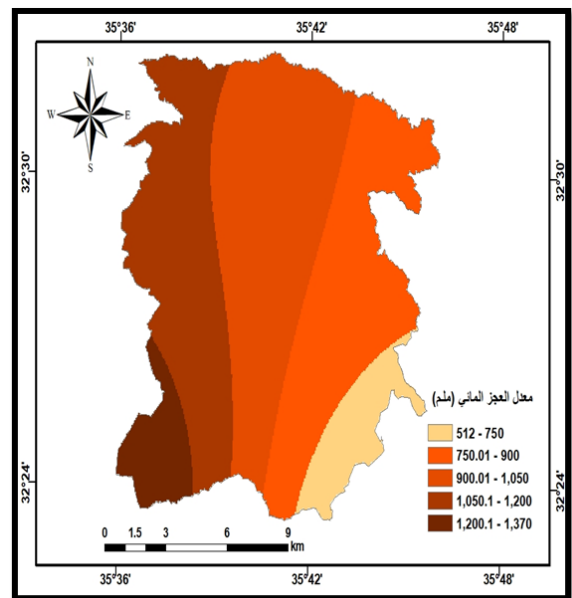


الشكل (7) التوزيع المكاني لمعدلات التبخر الحقيقي والتبخر الكامن في لواء الكورة

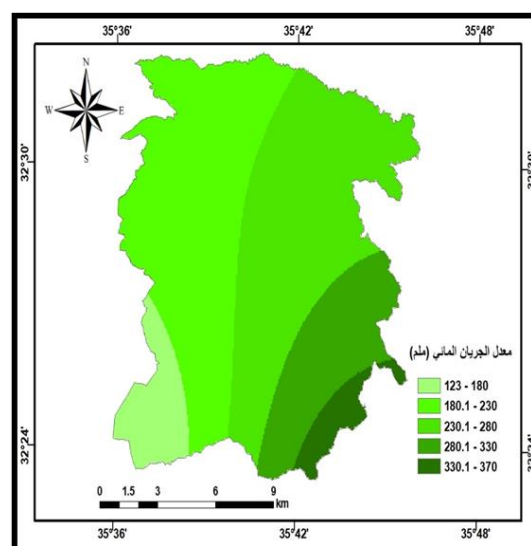
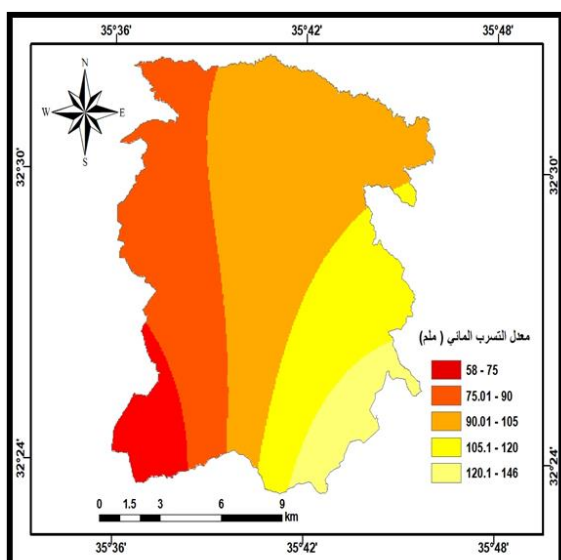
المصدر: عمل الباحثان بالإعتماد على برنامج Arc Map10.7



الشكل (10) التوزيع المكاني لمعدلات الفاقض المائي في (لواء الكورة)



الشكل (9) التوزيع المكاني لمعدلات العجز المائي في (لواء الكورة)



الشكل (12) التوزيع المكاني لمعدلات التسرب
المائي في (لواء الكورة)

الشكل (11) التوزيع المكاني لمعدلات الجريان
المائي في (لواء الكورة)

المصدر: عمل الباحثان بالاعتماد على برنامج Arc Map10.7

13. الخاتمة:

تُعدُّ دراسة الموارد المائية من المواضيع المهمة، وأصبح من الضروري الحفاظ عليها خاصة البيئات الجافة، وشبه الجافة؛ من أجل تحقيق احتياجات القطاعات الأخرى، كقطاع الأنشطة الاقتصادية، والزراعية، والاحتياجات المنزلية، التي تدخل جميعها في صلب التنمية وتطورها؛ حيث تمَّ دراسة التباين المكاني للموارد المائية في (لواء الكورة)، وتوزعها غير المتساوي على مستوى مساحتها، ويعدُّ تحليل عناصر الموازنة المائية أداة قيمة لتحديد الموارد المائية في المنطقة؛ لأنها اعتمدت على تطبيق عدد من المعادلات الرياضية التي تعطي الباحث فكرة عن الأوقات التي تحدث فيها فترات الفائض والعجز المائي في المنطقة، وفي سبيل الوصول إلى نتائج الموازنة المائية (للواء الكورة) وفق المعادلات المناخية الرياضية التي تمَّ الاعتماد عليها، الممثلة بمعادلة (ثورنثويت) كان لا بد من تحليل العناصر المناخية، وتشمل معدلات درجة الحرارة الشهرية، وكمية الأمطار للمحطات التي تغطي منطقة الدراسة وهي محطة (إربد، رأس منيف، الباقورة، والريان)، حيث سجلت محطتي (إربد، ورأس منيف) معدلات أمطار أعلى من بقية المحطات، الذي انعكس على ارتفاع قيم الفائض، والجريان المائي، إضافة إلى رطوبة التربة في المناطق التي تمثلها تلك المحطات.

13. النتائج:

1. بلغت أعلى كمية للتساقط في (لواء الكورة) (574.4 ملم) في محطة (رأس منيف) وأقلها في محطة (وادي الريان) وبلغ (295 ملم)، واستحوذ الشتاء على أعلى نسبة من التساقط وبلغت (67%) من مجموع التساقط السنوي، كما سجل أعلى معدل للأمطار في شهر كانون الثاني (24.3%) من مجموع التساقط السنوي.
2. شهدت منطقة الدراسة تبايناً في متوسط معدلات درجات الحرارة السنوية من مكان إلى آخر خلال الفترة الزمنية (1990م-2020م)، حيث سجلت أعلى القيم في كل من محطتي (الريان، والباقورة) وبلغت (23.3، 23 درجة مئوية) على التوالي، وسجلت أدنى قيم لها في كل من محطة (إربد، ورأس منيف)، وبلغت (18.9، 15 درجة مئوية)، وسجلت أعلى درجات الحرارة في فصل الصيف خلال شهر (حزيران، وتموز، وآب) في محطات منطقة الدراسة جميعها، وأعلاها في شهر آب.
3. يزداد التبخر والنتح الكامن في المنطقة في فصل الصيف، حيث شكّل ما نسبته (53.4%) من المجموع السنوي للتبخر، وكان أعلاها في شهر تموز وبنسبة (18.7%)، وبلغ أعلى معدل (1755.1، 1651.5 ملم) في محطتي (وادي الريان، والباقورة)، وأدنى معدل (858.4، 1099.7) في محطتي (رأس منيف، وإربد) على التوالي.
4. تعاني المنطقة من عجز مائي في أشهر السنة جميعها باستثناء أشهر فصل الشتاء، وشهري (آذار، وتشرين الثاني)، وسجل أعلى معدل للعجز المائي في محطتي (وادي الريان، والباقورة)؛ إذ بلغ (1370.2، 1253.7 ملم) على التوالي، وكان أقل المعدلات في محطتي (رأس منيف، وإربد) وبلغ (512.8، 736 ملم) على التوالي، وبشكل عام سجلت أشهر الصيف (حزيران، تموز، آب) أكثر معدلات للعجز المائي بما نسبته (66.48%) من المجموع السنوي.
5. تشهد المنطقة فائضاً مائياً في فصل الشتاء، وسجل أعلى معدل للفائض المائي في محطتي (رأس منيف، وإربد) وبلغ (423.7، 281.9 ملم) على التوالي، وكان أقلها في محطتي

(الريان، والباقورة) وبلغ (145.9، 202.3 ملم) على التوالي، ويحدث الفائض ما بين أربعة إلى خمسة أشهر، وسجل أعلى قيمة في شهر كانون الثاني بما نسبته (34%) من المعدل السنوي.

6. تبين وجود جريان سطحي في المنطقة لا يقل عن أربعة أشهر، وكانت أعلى قيم للجريان السطحي في محطتي (رأس منيف، وإربد)، حيث بلغت (369.9، 246.1 ملم) على التوالي، أما أدنى القيم فكانت في محطتي (الباقورة، والريان)، وبلغت (170، 123.9 ملم) على التوالي.

14. التوصيات:

- 1-التقييم المستمر للموارد المائية، ووضع الاستراتيجيات، والخطط اللازمة للمحافظة عليها، واستغلالها بأفضل الطرق.
- 2-زراعة المحاصيل المناسبة لكل منطقة حسب كمية الفائض المائي، حيث يختلف من منطقة إلى أخرى.
- 3-تسهيل الحصول على البيانات المناخية، وتوفيرها بدقة للباحثين للحصول على نتائج دقيقة.
- 4-توعية أبناء المجتمع حول كيفية استثمار الموارد المائية المتاحة، وترشيد استهلاكها في ظل محدوديتها.
- 5-الاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) في دراسة الخصائص الطبيعية للمنطقة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية بدلاً من الطرق التقليدية؛ لما توفره من الوقت، والجهد، والدقة.

المراجع العربية:

- الأسدي، كفاح صالح (2020) الموازنة المائية بين الإيراد المائي والاحتياجات المائية من مياه نهر المجرى الكبير في محافظة ميسان. مجلة الآداب بجامعة الكوفة، 12(43)، 269-305.
- حسن، أحمد (2015). استخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في دراسة جيومورفولوجية لطلبة ديخيز شمال العراق. مجلة جامعة بابل، 23(1)، 1-27.
- خوري، وديع (2007). التكامل بين حصاد المياه والحد من الانجراف المائي لمسقط مياه حوض الساحل بطموش بللو اران. رسالة دكتوراة غير منشورة، جامعة حلب، سوريا.
- داود، جمعة (2012). أسس التحليل المكاني في إطار نظم المعلومات الجغرافية. مكة المكرمة: مكتبة جريز للنشر والتوزيع.
- دائرة الإحصاءات العامة (2020). بيانات سكانية. عمان: الأردن.
- درويش، عز الدين (2012). الموازنة المائية التربة وعلاقتها بالإنتاج الزراعي: محافظة السلمانية نموذجاً للدراسة. مجلة كلية الآداب، 1(28)، 466-505.
- زكري، يوسف (2013). العلاقة بين التبخر والموازنة المائية لبعض المحطات المناخية في ليبيا. مجلة روافد المعرفة، 5(3)، 1-26.
- سلامه، حسن (2004). أصول الجيومورفولوجيا. عمان: دار السير للنشر.
- السمني، محمد (2013). الموازنة المائية وتوزيع للأراضي بشبه جزيرة سيناء: دراسة في جغرافية المناخ التطبيقي. مجلة كلية الآداب بجامعة دمنهور، 1(41)، 507-552.
- شحادة، نعمان (1983). المناخ العملي. عمان: مطبعة النور.
- الشخيلي، رنا (2005). الحاجات المائية لمشروع الدلمج الأروائي في محافظة واسط دراسة في الجغرافية الموارد المائية. رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة بغداد، العراق.
- عبداللطيف، ضياء (2017). الضوابط الهيدرولوجية لأحواض التصريف بمنطقة المدينة المنورة بالمملكة العربية السعودية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. مجلة كلية الآداب بجامعة نبعها، 2(48)، 75-138.
- العمرى، علاء (2017). تقييم الموارد المائية في حوض وادي شعيب باستخدام النماذج الهيدرولوجية وتقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية. رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة اليرموك، إربد، الأردن.
- غانم، علي (2018). التغيرات المناخية في الوطن العربي الماضي والحاضر والمستقبل. عمان: دار الحامد للنشر والتوزيع.
- الكعبي، فلاح (2017). الموازنة المائية بين الإيراد المائي والاحتياجات المائية لنهر البتيرة في محافظة ميسان. مجلة الآداب بجامعة بغداد، 1(121)، 441-468.
- محمد، وسام (2008). أساسيات نظم المعلومات الجغرافية. عمان: دار المعترف للنشر والتوزيع.
- المصاروة، طالب (2015). تقييم الموارد المائية وأثارها على البيئة في حوض وادي الحسا باستخدام نظام المعلومات الجغرافي. رسالة دكتوراة غير منشورة، الجامعة الأردنية، عمان، الأردن.
- المصاروة، طالب (2019). التغير في أنماط الغطاء الأرضي في لواء القصر الأردن خلال الفترة 1986-2016 من خلال تطبيق تقنيتي الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية. مجلة جامعة الشارقة للعلوم الإنسانية، 16(1)، 26-54.

المناصير، عطا (2012). الأمن المائي الأردني التحديات والأخطار. رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة الشرق الأوسط، عمان، الأردن.
وزارة المياه والري الأردنية (2020). إحصائيات المياه. عمان: الأردن.

المراجع الأجنبية

- Al-Abed, N., Abdulla, F., & Abu Khyarah, A. (2020). GIS-hydrological models for managing water resources in the Zarqa River basin. *Environmental Geology*, 47, 405-411.
- Almagbile, A., Zeitoun, M., Hazaymeh, K., Sammour, H. A., & Sababha, N. (2019). Statistical analysis of estimated and observed soil moisture in sub-humid climate in north-western Jordan. *Environmental monitoring and assessment*, 191, 1-21.
- Altz-Stamm, A. (2012). Jordan's water resource challenges and the prospects for sustainability. *GIS for Water Resources*.
- Domenico, P. A., & Schwartz, F. W. (1998). *Physical and chemical hydrogeology*, John Wiley and Sons. Inc., New York.
- Famiglietti, J. S., Rudnicki, J. W., & Rodell, M. (1998). Variability in surface moisture content along a hillslope transect: Rattlesnake Hill, Texas. *Journal of hydrology*, 210(1-4), 259-281.
- Jasrotia, A. S., Majhi, A., & Singh, S. (2009). Water balance approach for rainwater harvesting using remote sensing and GIS techniques, Jammu Himalaya, India. *Water resources management*, 23, 3035-3055.
- Sentelhas, P. C., dos Santos, D. L., & Machado, R. E. (2008). Water deficit and water surplus maps for Brazil, based on FAO Penman-Monteith potential evapotranspiration. *Ambiente e Agua-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 3(3), 28-42.