



## Spatial and Temporal Variation/ Variability of the Estimated and Measured Soil Moisture in Northern Jordan

Mohammad Zeitoun\*, Ali Al-Maqbel, Rawan Alkalaf

Yarmouk University, Jordan.

Received: 21/5/2021

Revised: 8/8/2021

Accepted: 27/10/2021

Published: 30/1/2023

\* Corresponding author:

[m.zeitoun@yu.edu.jo](mailto:m.zeitoun@yu.edu.jo)

Citation: Zeitoun, M. ., Al-Maqbel, A. ., & Alkalaf, R. . (2023). Spatial and Temporal Variation/ Variability of the Estimated and Measured Soil Moisture in Northern Jordan . *Dirasat: Human and Social Sciences*, 50(1), 56–76.

<https://doi.org/10.35516/hum.v50i1.4388>

### Abstract

The study employed the adjusted Thornthwaite-Mather model (1955) to estimate soil moisture in Irbid, Ras Muneef, and Almafraaq stations for the period (1977-2015). Besides, fieldwork to collect soil moisture from 22 sites for four months (November 2019 to February 2020) was conducted. The results show that both estimated and observed soil moisture increased toward the northwest of the study area, that the highest average soil moisture reached 196.8 mm in February in Ras Munif following rainfall and soil characteristics such as texture, porosity, permeability, and soil water capacity. In addition, the content of soil moisture tends to be more stable when the soil is at or near its field capacity. However, the instability of soil moisture decreases when the soil is dry, Soil moisture reaches its lowest level from May to October, and the lowest average moisture is recorded in October at a rate of up to 0.5 mm, in Mafrag. It has also been found that the soil moisture in the northwest slopes is slightly higher than those in the northeast slopes. The annual mean of true evapotranspiration ranged between (5.4 and 54 mm); The highest annual averages were recorded in Irbid Station for all months, which exceeded the other stations; It reached (40 mm) in the year 2009. Ultimately, the study recommended that it is necessary to integrate different studies such as agro-meteorological, hydrological, and studies to establish a geodatabase to support future agricultural planning.

**Keywords:** Soil moisture, water budget, potential evaporation, climate of Jordan, thorn thwaite & mather.

### التباين المكاني والزمني لرطوبة التربة المقدرة والمقاسة في شمال الأردن

محمد زيتون\*, علي المقبل، روان الخلف

جامعة اليرموك، الأردن.

#### ملخص

تهدف الدراسة إلى تقدير رطوبة التربة باستخدام نموذج ثورنثوايت وماذر المعدل (1955) في محطات إربد ورأس منيف والمفرق للمدة الزمنية (1977-2015)، اعتمدت الدراسة على العمل الميداني لجمع عينات التربة من (22) موقعاً مدة أربعة أشهر (تشرين الثاني 2019) وحتى نهاية شباط (2020) وتوصلت الدراسة إلى زيادة رطوبة التربة المقدرة والمقاسة بالاتجاه نحو الغرب والشمال الغربي من منطقة الدراسة، وأن أعلى معدل لرطوبة التربة يصل إلى 196.8 ملم في شهر شباط في رأس منيف، وذلك تبعاً لكميات الأمطار واختلاف السعة الحقلية للتربة، أما الاستقرار الزمني لرطوبة التربة؛ فقد لوحظ أن محتوى التربة من الرطوبة يميل إلى الاستقرار عندما تكون التربة رطبة، في حين ينخفض عندما تكون التربة جافة؛ حيث تصل رطوبة التربة إلى أدنى مستوى لها من أيار ولغاية تشرين الأول، ويُسجل أدنى معدل للرطوبة في تشرين الأول بمعدل يصل إلى 0.5 ملم، وذلك في المفرق. وتبين أيضاً أن محتوى التربة من الرطوبة في المنحدرات الشمالية الغربية أكثر نسبياً مما هو عليه الحال فوق المنحدرات الشمالية الشرقية، يتراوح المتوسط السنوي للتبخير/ النتج الحقيقي بين (5.4 و 54 ملم)؛ إذ سُجلت أعلى المتوسطات السنوية في محطة إربد لجميع الشهور والتي تفوق المحطات الأخرى؛ إذ بلغت (40 ملم) في سنة 2009، أخيراً توصي الدراسة بضرورة التكامل ما بين الدراسات ذات العلاقة برطوبة التربة كالدراسات المناخية - الزراعية والهيدرولوجية؛ لتوفير قاعدة بيانات تكون متاحة للتخطيط للاستغلال الأمثل للتربة في زيادة الإنتاجية الزراعية. الكلمات الدالة: رطوبة التربة، الموازنة المائية للتربة، التبخر الكامن، مُناخ الأردن، ثورنثوايت وماذر.



© 2023 DSR Publishers/ The University of Jordan.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY-NC) license <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

## المقدمة

يعدُّ تقدير رطوبة التربة من أكثر الطرق التي تهتم بها الدراسات المناخية، لما لها من تأثير مباشر في كمية المياه الملائمة للنبات، لذا؛ فإن جميع المعادلات المستخدمة طورها علماء المناخ والفيزياء (أبو سمور والخطيب، 1999). وتعدُّ معادلة ثورنثوايت وماذر (Torntwaite and Mather (1955) من أقدم المحاولات في تقدير معدلات التبخر من النباتات والتربة والمسطحات المائية؛ إذ استطاع ثورنثوايت عام 1948 تطوير معادلات خاصة لتقدير معدلات التبخر/النتج والتي ما زالت تُستخدم على نطاق واسع من قبل علماء الهيدرولوجيا وعلماء المناخ حتى وقتنا الحاضر؛ إذ عُدَّت المعادلة الأولى عام 1948 بالاعتماد على التغير في مخزون التربة من الماء نتيجة العلاقة بين التساقط والتبخر- النتج لتحديد الموازنة المائية (Thorntwaite and Mather, 1955).

كما إن المحتوى المائي من العناصر المهمة في عمليات نشأة التربة وتطورها، ونمو النباتات والتحكم بالعمليات الهيدرولوجية والكيميائية والحيوية، لكن تختلف رطوبة التربة من مكان لآخر بحسب الظروف الطبيعية للمنطقة، كطبوغرافية سطح الأرض، والانحدار والارتفاع عن سطح البحر واتجاه السفوح الانحدارية. لذا؛ تؤدي الطبوغرافيا دوراً مهماً في تحديد رطوبة التربة، وتحديد نوعية الغطاء النباتي والحيوي فيها. وتتباين رطوبة التربة أيضاً بحسب خصائص التربة كالنسج والمسامية والنفاذية، بالإضافة إلى دور الغطاء النباتي من حيث الكثافة والنوع في تحديد محتوى التربة من الرطوبة (Brocca et al, 2010).

ويعدُّ العامل الزمني أحد العوامل التي تؤثر في التربة وتطورها فهي عملية بطيئة جداً تحتاج إلى آلاف السنين. فالطبوغرافيا والنبات ذات آثار مهمة في اختلاف الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة، نتيجة التفاعلات بين الطبوغرافيا والنبات، ومن ثَمَّ فإن محتوى التربة من الرطوبة يتطور زمنياً مع تطور التربة، فدراسة العلاقة بين الطبوغرافية والنبات، واختلاف رطوبة التربة زمنياً ومكانياً، يشكِّل الأساس في فهم العلاقة التبادلية بين هذه المتغيرات، ومن ثَمَّ القدرة على التخطيط الزراعي والحيوي. لذلك؛ فإن اختلاف رطوبة التربة من مكان إلى آخر يؤدي إلى اختلاف أنواع النباتات ودرجة تكيفها مع محتوى التربة من الرطوبة. ثمَّ إن معرفة التغير الزمني والمكاني لرطوبة التربة يحتاج إلى قياسات ميدانية وأجهزة قياس خاصة، لذا؛ فإن العديد من الدراسات استخدمت بعض النماذج لتقدير رطوبة التربة اعتماداً على بيانات درجات الحرارة والأمطار. وحديثاً استخدمت بيانات الاستشعار عن بعد لتقدير رطوبة التربة في البيئات الجغرافية المختلفة.

## مشكلة الدراسة

يتذبذب محتوى الرطوبة ويتغير مكانياً وزمنياً في شمال الأردن، وتتشابك العوامل المؤثرة في التباين الزمني والمكاني لرطوبة التربة؛ إذ تشكل الخصائص الطبوغرافية والغطاء النباتي جزءاً مهماً منها؛ لما لها من تأثير واضح في كمية المياه المتسربة والمفقودة من التربة (التوازن المائي للتربة). وعلى الرغم من وضوح العلاقة بين رطوبة التربة والمؤشرات الطبوغرافية والنباتية إلا أن درجة العلاقة بينهما غير واضحة، وأن المؤشرات قد يكون لها دورٌ في الاستقرار الزمني لرطوبة التربة. أي أن محتوى التربة من الرطوبة لا يتغير إلا بعد مدة. وتحاول الدراسة الإجابة عن التساؤلات الآتية:

1. ما خصائص التباين المكاني في رطوبة التربة المقيسة (observed) في شمال الأردن؟
2. ما خصائص التباين الزمني في رطوبة التربة المقيسة (observed) في شمال الأردن؟
3. ما العوامل المؤثرة في رطوبة التربة المقيسة (observed) والمقدرة (estimated) في منطقة الدراسة؟

## اهمية الدراسة واهدافها:

تلقي هذه الدراسة الضوء على الخصائص المكانية والزمنية لرطوبة التربة المقيسة والمقدرة في شمال الاردن، وتحاول ربط الرطوبة المقيسة والمقدرة بالعوامل التي تؤثر فيها وتؤدي الى تباينها. لذلك فانها تهدف الى تحقيق ما يأتي:

1. تحليل التباين المكاني في رطوبة التربة المقيسة (observed) في شمال الأردن؟
2. تحليل التباين الزمني في رطوبة التربة المقيسة (observed) في شمال الأردن؟
3. تحديد العوامل المؤثرة في رطوبة التربة المقيسة (observed) والمقدرة (estimated) في منطقة الدراسة؟

## الدراسات السابقة:

يعدُّ نموذج ثورنثوايت وماذر الأكثر شيوعاً عند الجغرافيين؛ إذ يعتمد في تقدير رطوبة التربة على استخدام درجات الحرارة ومعدل الأمطار، ويستخدم للمناطق التي لا تتوفر فيها بيانات دقيقة وكافية عن السعة الحقلية للتربة ونوعية النباتات؛ لما لها من أهمية في التوصل إلى نتائج أقرب

للحقيقة. وتعدّ عملية تقدير كمية مياه الأمطار المفقودة بسبب التبخر والنتح (Evapotranspiration) من الأمور الأساسية في الهيدرولوجية، لعلاقتها المباشرة بمحتوى التربة من الرطوبة. (عنانزة، 1996). ومن أهم الدراسات التي تبنت نموذج ثورنثويت وماذر في تقدير رطوبة التربة ما يأتي:

تعدّ دراسة Steenhuis و Van der Molen (1986) من الأمثلة على الدراسات التي تبنت احتساب رطوبة التربة باستخدام نموذج ثورنثويت وماذر المعدل (1955). إذ طُوّر هذا النموذج لاحتساب رطوبة التربة اليومية. وتوصلت الدراسة إلى القدرة على التنبؤ بأعماق المياه الجوفية؛ وذلك عن طريق حساب التغذية المائية على أعماق جذور النباتات.

وقدرت دراسة شحادة (1995) الحاجات المائية المثلى لزراعة القمح في شمال الأردن، التي تمثل نحو (43%) من زراعة القمح في الأردن، باستخدام معادلة بنمان (Penman). وتوصلت إلى وجود ارتفاع في معدل الحاجات المائية للقمح تصل إلى (748) ملم، إلى جانب انخفاض درجة رطوبة التربة، ما كان له الأثر الأكبر في انخفاض الإنتاجية والمساحة المزروعة.

دراسة العنانزة (1996) قُدِّرَت الموازنة المائية في حوض وادي الكرك باستخدام المعادلات التجريبية (خروفه و ثورنثويت و خوسلا)، واستخدمت في حساب التبخر والنتح الكامن، وتوصلت إلى أن الحوض يعاني من عجز مائي مدة ثمانية أشهر، وأوصت بضرورة تبني الزراعة المروية، واستخدام أسلوب الحصاد المائي؛ لتوفير المياه لاستخدامها في الريّ في أوقات العجز المائي.

أما دراسة Romshoo (2004) فقد تناولت تقدير رطوبة التربة باستخدام Synthetic Aperture radar (SAR) في تقدير رطوبة التربة في تايلاند كما استخدمت القياسات الميدانية للتحقق من قياسات الاستشعار عن بعد، وتبين من خلال الدراسة أن متوسط معامل الاختلاف المكاني لرطوبة التربة بلغ حوالي 3.33% أثناء الفصل الجاف و 33.44% خلال الفصل المطير. كما أظهرت الدراسة أن متغيرات semivariogram مثل sill و range و nugget تختلف في الفصل الجاف عن الفصل المطير حيث كانت قيم sill في الفصل المطير حوالي 107.57% بينما في الفصل الجاف 1% وتراوح قيم range بين 46.5 و 149.8 متر في الفصل الجاف والمطر على التوالي، بينما لم يظهر تغير واضح في قيم nugget بين الفصل الجاف والمطر.

ولاقت دراسة التباين والاستقرار المكاني والزمني لرطوبة التربة اهتماماً واسعاً من قبل الباحثين، فقد تناول Coash et al (2007) التباين والاستقرار الزمني لرطوبة التربة السطحية في المناطق شبه القاحلة في جنوب شرق أريزونا باستخدام الأساليب الإحصائية مثل الفروق النسبية (Relative differences) والانحراف المعياري للاختلافات النسبية، ومعامل ارتباط سيرمان لتقييم الاستقرار الزمني لرطوبة التربة، والانحدار المتعدد للمتغيرات، والنموذج الخطي العام لدراسة تأثير الطوبوغرافيا في رطوبة التربة. وتوصلت الدراسة إلى أن تأثير العلاقة بين استقرار رطوبة التربة والطوبوغرافية مثل الارتفاع والانحدار تأثير ضئيل جداً.

دراسة Dourado et al (2010) فقد استخدمت طريقة Thornthwaite and Mather, 1955 لحساب موازنة رطوبة التربة الشهرية؛ واستُخدمت مجموعة بيانات التربة والبيانات المناخية البسيطة طويلة الأجل لعمل موازنة مائية لموقع معين، وفي تقدير التبخر الفعلي والفائض والعجز المائي للتربة؛ إذ تعدّ ذات فائدة لتقييم الممارسات الزراعية. ويمكن تطبيق الموازنة المائية للتربة بحسب تقدير طريقة Thornthwaite and Mather لتصنيف المناخ والدراسات البيئية والتخطيط الزراعي.

تناولت دراسة Brocca et al. (2010) قياس رطوبة التربة باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد والقياسات الميدانية في سبعة حقول بمساحات مختلفة في وسط إيطاليا، حيث درست 35 عينة و ذلك لبيان الاختلاف المكاني والزمني للرطوبة باستخدام الأساليب الإحصائية مثل المتوسط المكاني والزمني ومعامل الاختلاف والانحراف المعياري، كما تناولت الاستقرار الزمني لرطوبة التربة temporal stability باستخدام الفروق النسبية ومعامل الارتباط. وأظهرت النتائج أن العدد الأمثل لعينات التربة يجب أن يتراوح بين 4-15 عينة في المناطق الجافة مما يدل على استقرارية التربة لفترة زمنية طويلة، أما في المناطق الرطبة فإن العدد العينات يجب أن لا يقل عن 40 عينة وذلك بسبب التغير المستمر في رطوبة التربة.

وتعدّ دراسة Zhang & shao (2013) من الدراسات التي تناولت الاستقرار الزمني لرطوبة التربة في منطقتين (رطبة، وشبه جافة) في شمال غرب الصين بهدف تحليل العوامل التي تؤثر على الاستقرار الزمني لرطوبة التربة وذلك لتحديد أنماط رطوبة التربة في البيئات القاحلة، والتي لها آثار مهمة على النمذجة الهيدرولوجية والاستخدام المستدام للأراضي، حيث جرى قياس رطوبة التربة السطحية على مدى عام 2012 كل أسبوعين للفترة الممتدة بين شهري نيسان إلى تشرين الأول، وتم استخدام الفروق النسبية في تحليل الرطوبة، وتوصلت إلى أن رطوبة التربة ذات النسيج الناعم كانت أعلى وأكثر تنوعاً من التربة ذات النسيج الخشن، كما أن محتوى رطوبة التربة كان أكثر استقراراً في المناطق الجافة عما هو عليه في المناطق الرطبة.

أما دراسة Kumar et al. (2014) فقد تناولت تحليل التباين المكاني لرطوبة التربة باستخدام الاحصاء الجيومكاني geostatistical analysis في إحدى الأحواض المائية في الهند، من خلال قياس رطوبة التربة الحقلية من 69 عينة وتحليلها باستخدام المتوسطات المتحركة و Kriging لظهور التباين المكاني لرطوبة التربة وللمقارنة بين كلا التحليلين، كما جرى حساب root mean square error (rmse) لرطوبة التربة المقاسة والمقدرة، وتبين أن rmse يتراوح بين 7.42 و 9.77 في حالة استخدام التحليل المعتمد على المتوسطات المتحركة، بينما تراوحت قيمة rmse في حالة الاعتماد على تحليل kriging حوالي 7.33 و 9.99، أي أن كلا التحليلين حققا نتائج متقاربة، كما إن التباين المكاني لرطوبة التربة ازداد بازدياد المسافة بين عينات التربة.

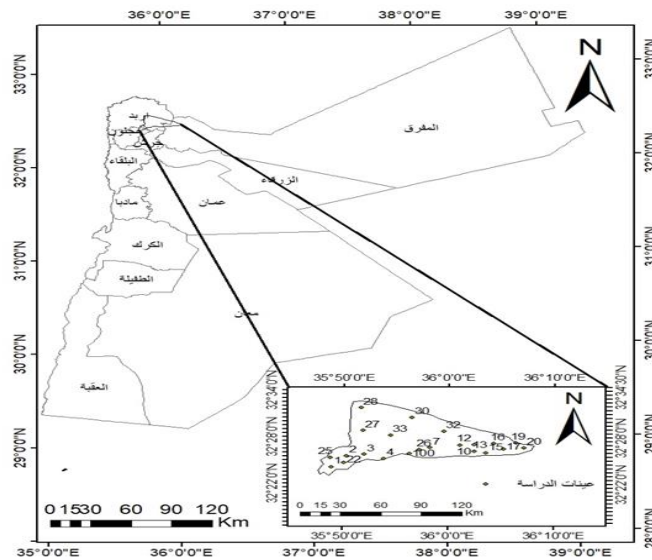
دراسة زيتون (2016) والتي هدفت إلى تحليل عناصر الموازنة المائية في شمال الأردن لمعرفة الفائض والعجز المائي باستخدام معادلة ثورنثويت وماذر (1955) باستخدام المتوسطات الشهرية والسنوية لدرجات الحرارة والأمطار. نتج عن الموازنة المائية أن المنطقة تعاني من عجز مائي يمتد من (7-9) أشهر، وكانت أدنى قيمة للعجز المائي (424.5) ملم في رأس منيف، وأعلى قيمة (1046) ملم في الباقورة، وبلغت أعلى قيمة للفائض المائي في رأس منيف، وأدنى قيمة في المفرق.

وتناولت دراسة Majdar et al, (2018) تقييم التغير الزمني والمكاني لرطوبة التربة السطحية في منطقة شبه قاحلة وباردة في محافظة أربيل في العراق. وتناولت دراسة أخرى تأثير العوامل الطبوغرافية (الاتجاه، الانحدار، الارتفاع) في رطوبة التربة، واستُخدم التحليل الإحصائي ANOVA أحادي الاتجاه لمعرفة تأثير الطبوغرافيا في رطوبة التربة. ونتج عن الدراسة أن الانحدار أكثر العوامل الطبوغرافية تأثيراً في رطوبة التربة. أما على المستوى المحلي، فقد تناولت الدراسات رطوبة التربة بأساليب مختلفة؛ إذ تناول Almagbile et al (2019) تقدير رطوبة التربة في المناطق شبه الرطبة الواقعة في الجزء الشمالي الغربي من الأردن ورأس منيف؛ إذ جرى الاعتماد على جمع عينات التربة وتحليلها إحصائياً؛ لرصد التغير المكاني والزمني لرطوبة التربة، وربطها مع الرطوبة المقدرة باستخدام نموذج ثورنثويت وماذر (1955). وبينت الدراسة أن هناك ارتباطاً كبيراً بين الرطوبة المقدرة والمقيسة. وهذا يدل على إمكانية الاعتماد على نموذج ثورنثويت في تقدير الرطوبة في منطقة الدراسة.

وجاءت هذه الدراسة؛ لتفسير التباين المكاني والزمني لرطوبة التربة في شمال الأردن من حيث استخدام أحد أشهر نماذج تقدير رطوبة التربة لفحص قدرة هذه النموذج في تفسير اختلاف الرطوبة مكانياً وزمانياً، وربطها مع رطوبة التربة المقيسة، واستخدام التحليل الجيومكاني؛ لتفسير تباين رطوبة التربة المقيسة واستقرارها ميدانياً؛ وذلك للمقارنة بين القيم المقدرة والمقيسة على الصعيد المحلي والإقليمي.

### منطقة الدراسة

اخترت منطقة الدراسة في شمال الأردن في المنطقة الممتدة من إربد شمالاً حتى رأس منيف جنوباً والمفرق شرقاً (Error! Reference source not found.)؛ إذ تقع هذه المنطقة بين خطي عرض  $32^{\circ}19'30''$  و  $32^{\circ}40'30''$  شمالاً، وخطي طول  $35^{\circ}40'0''$  و  $36^{\circ}10'0''$  شرقاً. ويعود السبب في اختيار هذه المنطقة إلى التنوع الطبوغرافي والمناخي والنباتي؛ إذ تظهر المرتفعات في الجزء الجنوبي والشرقي من منطقة الدراسة وخصوصاً بالقرب من مرتفعات عجلون ومنطقة حوشا (المفرق). أما في الجزء الشمالي من المنطقة، فتظهر سهول إربد الممتدة من جنوب حوران والاتجاه شمالاً. ونظراً إلى التباين المناخي والطبوغرافي للمنطقة، فإن محتوى التربة من الرطوبة يختلف من مكان لآخر، وهذا يتبعه اختلاف نوع الغطاء النباتي وكثافته وتوزيعه. وبسبب اختلاف الخصائص الطبيعية في منطقة الدراسة، فقد قُسمت المنطقة إلى ثلاث مناطق فرعية:



شكل 1: منطقة الدراسة والمحطات المناخية، اعداد الباحثين

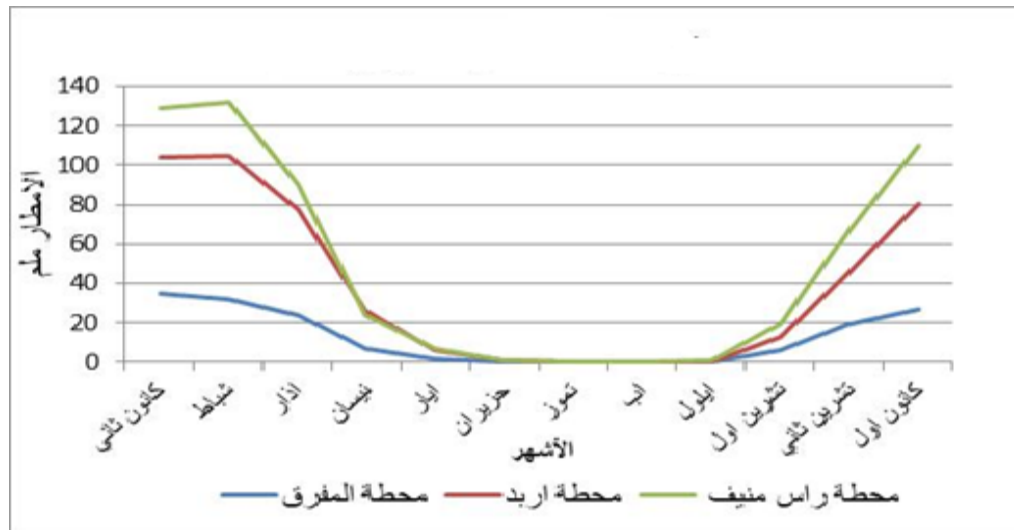
وذلك لدراسة أثر العوامل السالفة الذكر في رطوبة التربة على المستوى الإقليمي والمحلي؛ لذلك فإن المناطق الفرعية حسب طبيعة اللاندسكيب landscape تشمل ما يأتي:

– المنطقة (أ) وتشمل منطقة الدراسة كلها؛ إذ تبلغ مساحتها (257.72 كم) تقريباً.

- المنطقة (ب) وتشمل المنطقة الشرقية من منطقة الدراسة والتي تقع بين شرق محافظة إربد، وشمال غرب محافظة المفرق بين خطي عرض  $32^{\circ} 19' 30''$  و  $32^{\circ} 40' 30''$  شمالاً، وخطي طول  $35^{\circ} 40' 0''$  و  $36^{\circ} 10' 0''$  شرقاً. وتتنوّع باختلاف الظروف المناخية عن المناطق الأخرى؛ إذ يتراوح الارتفاع عن مستوى سطح البحر بين 545 - 752 م، وتبلغ مساحتها (46.16 كم) تقريباً.
- المنطقة (ج) المتجانسة، وتشمل المنطقة الشمالية من منطقة الدراسة، والتي تقع إلى الجنوب من محافظة إربد، وتمتدُّ بين خطي عرض  $32^{\circ} 30' 0''$  و  $32^{\circ} 40' 30''$  شمالاً، وخطي طول  $35^{\circ} 40' 0''$  و  $36^{\circ} 10' 0''$  شرقاً. وتتميز بقلة التباين، وتتميز بسهولها أيضاً، ويتراوح ارتفاع منطقة إربد فوق مستوى سطح البحر ما بين (504 - 938 م)؛ إذ تبلغ مساحتها (180.37 كم) تقريباً.
- المنطقة (د) غير المتجانسة طبوغرافياً، وتشمل المنطقة المحاذية لعجلون، والممتدة بين خطي عرض  $32^{\circ} 19' 30''$  و  $32^{\circ} 40' 30''$  شمالاً، وخطي طول  $35^{\circ} 40' 0''$  و  $36^{\circ} 10' 0''$  شرقاً. وتتميز بالطبوغرافية المتنوعة، فهي منطقة مرتفعة جبلية، وتتراوح الارتفاعات من (768 م) إلى (1132 م) فوق مستوى سطح البحر، وتبلغ مساحتها (31.19 كم) تقريباً.

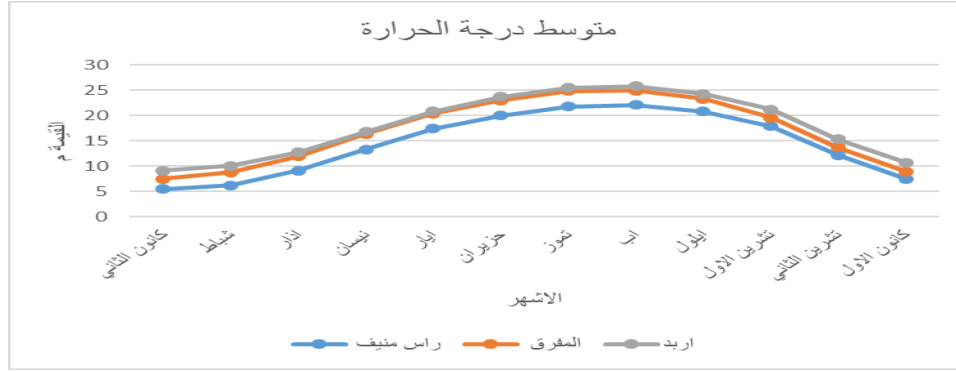
#### (a) المناخ

يبدأ هطول الأمطار في منطقة الدراسة في شهر تشرين الثاني، ويمتدُّ حتى نيسان (شكل 2)، وتركز الأمطار في (كانون الأول، وكانون الثاني، وشباط)، ويظهر الهطول السنوي تفاوتاً في كميات الأمطار من منطقة لأخرى، وسبب ذلك هو اختلاف العوامل المؤثرة من شهر إلى آخر، واختلاف درجة الحرارة واختلاف طبوغرافية المكان. وتتميز منطقة الدراسة أيضاً بالتباين المناخي كما يظهر في Error! Reference source not found.؛ إذ يبلغ معدل الأمطار السنوي في منطقة الدراسة (288.5) تقريباً، وتُعد مرتفعات عجلون أوفر حظاً من حيث كميات الأمطار (586.8 ملم) وتأتي سهول إربد في المرتبة الثانية؛ إذ تتلقى سنوياً (449 ملم)، أما المنطقة الشرقية القريبة من محافظة المفرق، فتتلقى أمطاراً سنوية مقدارها (140 ملم).



شكل 2: المتوسط الشهري للأمطار ملم في منطقة الدراسة للمدة الزمنية 1977-2015.

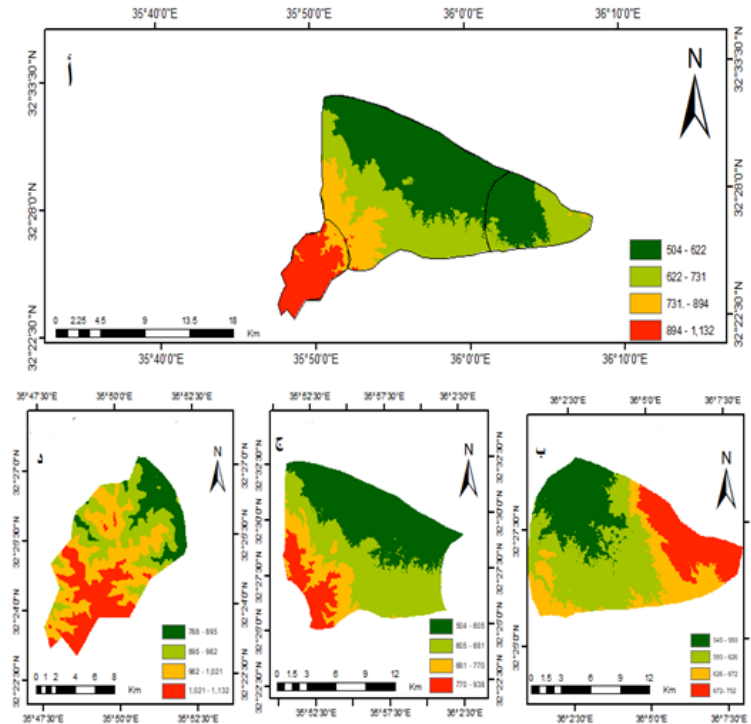
وتعدُّ درجة الحرارة من العناصر المناخية المؤثرة في محتوى التربة من الرطوبة على نحو مباشر أو غير مباشر؛ إذ تتصف الأشهر عالية الهطول المطري بأقل درجات الحرارة، في حين تمتاز الأشهر التي يحدث فيها أدنى هطول للأمطار بأعلى درجات الحرارة، ويتراوح المتوسط الشهري لدرجة الحرارة ما بين (14 م°) في رأس منيف في الجزء الجنوبي، وفي منطقة إربد (18 م°)، وفي الجزء الشرقي من منطقة الدراسة (16.9 م°). ويلاحظ من شكل أن أعلى المتوسطات الشهرية لدرجات الحرارة سُجلت في محطة إربد لجميع الشهور، وهي تفوق المتوسطات الشهرية في المحطات الأخرى، أما أدنى المتوسطات الشهرية لدرجة الحرارة، فقد سُجلت في محطة رأس منيف (شكل 3).



شكل 3: متوسط درجة الحرارة خلال مدة الدراسة

#### (b) الطبوغرافيا والجيولوجيا

تنتمي طبقات الصخور في المنطقة الى حقبة الحياة الحديثة والمتوسطة (Bender, F.1975)، حيث تعرضت الى عدد من الحركات الارضية التي امتدت من عصر الميوسين حتى البلايستوسين (البحري، 1990)، مما ساهم في تكوين الجزء الشمالي الغربي من الهضبة الشرقية التي تتجه روافدها نحو وادي الاردن (عابد، 2000)، وقد تباينت طبوغرافية المنطقة في اجزائها الثلاثة، كما تباينت انواع الصخور المكتشفة فيها، من الكلس أو البازلت. فارتبطت الترب بخصائص البيئة الطبيعية والمناخ (الصباغة وزيتون، 2019) فتظهر تربة التيراروزا (البحر المتوسط الحمراء) فوق التكوينات الكلسية في اريد (ابو سمور، 2015) نظرا إلى غناها بأكاسيد الأكاسيد، وقد تأثرت بسلسلة من التغيرات المناخية، خاصة بعد تشكل صدع وادي الأردن (عابد، 2000). وساهمت عوامل الاضافة والازالة و الانحدار في تشكيلها. إن وجود ترب ذات مقطع عميق ومحتوى طيني غني بالأكاسيد، وأغشية طينية، يدل على أن بعض هذه الترب قد تشكلت ضمن مناخ أكثر رطوبة، وبالاتقال جنوبا نحو عجلون يميل لونها الى الاحمر الداكن والبي نظرا إلى غناها بالمادة العضوية وخاصة ترب الاحراج والغابات. وبالاتقال شرقا تظهر تربة الرندزينا بين المفرق وأريد إضافة إلى الترب الكلسية. يبين (الشكل 4) خريطة نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) Digital Elevation Model الذي يبين مناسب سطح الأرض في منطقة الدراسة؛ إذ تتميز باختلاف الارتفاعات؛ فأعلى ارتفاع في الجزء الجنوبي من منطقة الدراسة هو (1131-931 م) تقريباً، وأقل ارتفاع في الجزء الشمالي من منطقة الدراسة، ويتراوح بين (504-610 أمتار) تقريباً، في حين أن الارتفاع المتوسط يوجد في الجزء الشرقي من منطقة الدراسة، ويتراوح بين (701-808 أمتار) فوق مستوى سطح البحر.



شكل 4: نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) لمنطقة الدراسة، اعداد الباحثين

## المنهجية

استخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، لتحليل التباين المكاني والزمني لرطوبة التربة التي جرى قياسها من 22 عينة للتربة جمعت من نقاط مختلفة، كما استخدمت المنهج التجريبي وذلك لتقدير رطوبة التربة والتبخر الكامن والحقيقي لمناطق الدراسة الفرعية باستخدام نموذج ثورنثويت وماذر المعدل (1955)؛ وقد اعتمدت الدراسة على اتباع الاجراءات التالية:

1. قياس رطوبة التربة: جرى جمع (22) عينة من التربة مدة أربعة أشهر (تشرين الثاني 2019 إلى نهاية شباط 2020) على عمق يتراوح بين 10-15 سم، وتوزعت على مناطق مختلفة من منطقة الدراسة (الجدول 1). وتشمل مناطق ذات تضاريس مختلفة (شديدة الانحدار، ومتوسطة الانحدار، ولطيفة قليلة الانحدار) وذلك لإظهار أثر التضاريس في اختلاف التربة مكانياً وزمنياً، وليكون عدد العينات في المناطق السهلية قليلة، وذلك نظراً إلى قلة الفوارق بينها من الناحية التضاريسية والمناخية. وروعي أيضاً الاستخدام والنشاط الزراعي في بعض المناطق؛ لذلك قُلِّلَ العدد في تلك المناطق بأن يكون - قدر الإمكان - ضمن مناطق مختلفة في الغطاء النباتي؛ لأن المنطقة تحتوي على نبات طبيعي كثيف، مثل مناطق عجلون ومناطق محاصيل زراعية، مثل مناطق إربد ومناطق مراعي طبيعية مثل الجزء الشرقي من منطقة الدراسة.

الجدول 1: عينات التربة وخصائصها

المنسوب	نوع التربة	العمق	رطوبة التربة %	نوع الغطاء النباتي	الموقع		العينة
					Y	X	
995	غربي(سلي)/لومي	15- 10	84.44	غابات حرجية	58630	388533	1
924	غربي(سلي)/لومي	15- 10	77.84	غابات حرجية	58900	390768	2
857	غربي(سلي)/لومي	15- 10	88.24	غابات حرجية	58930	393450	3
763	طينية	15- 10	72.59	محاصيل حقلية	58830	396311	4
673	طينية	15- 10	83.32	محاصيل حقلية	58950	400120	5
640	طينية	15- 10	69.91	محاصيل حقلية	59090	403163	6
609	تربة صحراوية	15- 10	56.37	مراعي	59150	407752	7
602	تربة صحراوية	15- 10	63.81	مراعي	59160	409803	8
630	تربة صحراوية	15- 10	61.97	مراعي	59000	409809	9
622	تربة صحراوية	15- 10	53.03	مراعي	58960	411577	10
595	تربة صحراوية	15- 10	63.42	مراعي	59190	412688	11
629	تربة صحراوية	15- 10	52.37	مراعي	59050	414181	12
695	تربة صحراوية	15- 10	55.14	مراعي	59200	415986	13
676	تربة صحراوية	15- 10	49.78	مراعي	59080	417253	14
1057	غربي(سلي)/لومي	15- 10	87.75	غابات حرجية	58740	390360	15
980	غربي(سلي)/لومي	15- 10	86.13	غابات حرجية	58860	388362	16
647	طينية	15- 10	78.19	محاصيل حقلية	59040	401583	17
753	طينية	15- 10	87.60	محاصيل حقلية	59500	393263	18
621	طينية	15- 10	83.03	محاصيل حقلية	60040	392963	19
538	طينية	15- 10	83.68	محاصيل حقلية	59810	400541	20
588	طينية	15- 10	66.13	محاصيل حقلية	59480	405250	21
637	طينية	15- 10	82.64	محاصيل حقلية	59390	397322	22

2. البيانات المناخية: وتشمل معدلات الأمطار الشهرية ومعدل درجة الحرارة الشهري للمدة الزمنية الممتدة من 1977 حتى 2016؛ وذلك لتقدير رطوبة التربة باستخدام نموذج ثورنثويت وماذر المعدل (1955) لثلاث محطات مناخية (إربد، ورأس منيف، والمفرق). وتقع محطتا إربد ورأس منيف ضمن حدود منطقة الدراسة، في حين استُعينَ بمحطة المفرق نظراً إلى قربها الجغرافي من الجزء الشرقي من منطقة الدراسة. أما السعة الحقلية للتربة، فقد استُعينَ بجدول خاصة أعدها ثورنثويت وماذر (Thorntwaite and Mather 1955) لمختلف الترب في العالم.

## 3. تقدير رطوبة التربة باستخدام نموذج ثورنثويت وماذر المعدل (1955)

يعتمد نموذج ثورنثويت وماذر (1955) لتقدير رطوبة التربة على السعة الحقلية (AWC)، وتراكم عجز الرطوبة (APWL)، ويعتمد على (P-PET).

1- المتوسط الشهري لدرجة الحرارة.

2- المتوسط الشهري للأمطار.

3- السعة الحقلية للتربة.

ومن خلال هذه العناصر تُحسب المعدلات الشهرية للتبخير/ النتج الكامن، ومن ثم تقدير رطوبة التربة والتبخير/ النتج الحقيقي:

(1) التبخير/ النتج الكامن (المحتمل): ويعود سببه إلى الجو، ووجود ماء على السطوح المختلفة كالمسطحات المائية والتربة والنباتات عند درجة حرارة معينة. ويمكن حسابه باستخدام المعادلة التالية (Singh and Hari Prasad, 2004; Roy and Ophori 2012):

$$PET = 1.6 \times \left(10 \times \frac{1}{T}\right) \times C \quad (1)$$

إذ إن:

PET: التبخير/ النتج الكامن الشهري.

T: درجة الحرارة الشهرية بالدرجات المئوية.

C: معامل التصحيح الذي يعتمد على درجة عرض المكان وعدد ساعات سطوع الشمس

i: قرينة الحرارة الشهرية.

ولحساب القرينة الحرارية الشهرية (Thorntwaite and Mather, 1957) تستخدم المعادلة:

$$i = (T/5)^{(1.514)} \quad (2)$$

أما دالة القرينة الحرارية السنوية (a) ثابت، يتم بناء على القرينة الحرارية الشهرية باستخدام المعادلة الآتية:

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

أما معامل التصحيح الشهري (C) بافتراض أن أيام الشهر 30 يوماً، ويُحسب باستخدام المعادلة الآتية:

$$c = (m/30) \times (d/12) \quad (4)$$

إذ إن:

m: عدد أيام الشهر.

d: معدل عدد ساعات سطوع الشمس الشهري.

2) رطوبة التربة (SWC): وتحسب رطوبة التربة من خلال طرح المعدل الشهري للتبخير/ النتج الكامن من معدل الأمطار الشهرية (P-PET)،

إذا كانت كمية الأمطار أكبر من التبخير/ النتج (P>PET) فيحدث فائض مائي، في حين يظهر العجز المائي عندما تكون كمية الأمطار أقل من التبخير/

النتج (P<PET). وفي حال ظهور العجز المائي، نستخدم الفاقد التراكمي لرطوبة التربة (APWL): إذ تبدأ عملية الحساب عندما تكون قيمة طرح

التبخير/ النتج الكامن من الأمطار سالبة؛ إذ تستخدم المعادلة الآتية (Steenhuis and Van der Molen, 1986):

$$SWC_i = AWC \times e^{AWPL/AWC} \quad (5)$$

إذ إن:

AWC: السعة الحقلية للتربة، والتي تعتمد على عوامل عدة، منها نمط استعمالات الأرض، وخصائص التربة في منطقة الدراسة مثل نسيج التربة

وعمقها، ونسبة المواد العضوية. ويمكن حساب السعة الحقلية (Dourado et, 2010) باستخدام:

$$AWC = (\theta_F - \theta_W) Z_e \quad (6)$$



إذ إن:  $Ze$  عمق الجذر،  $\theta_w, \theta_f$  هما قدرة الحقل ونقطة الذبول على التوالي.

أما التغير في رطوبة الشهرية  $\Delta SWC_i$  فإن الفرق بين رطوبة التربة في الشهر الحالي  $SWC_i$  ورطوبة التربة في الشهر السابق  $SWC_{i-1}$ ، يتم حسابه باستخدام:

$$\Delta SWC_i = SWC_i - SWC_{i-1} \quad (7)$$

(3) التبخر/ النتج الحقيقي (AET): وهو ما يعود فعلاً من ماء إلى الغلاف الجوي من السطوح المختلفة كالترية والمساحات المائية والنباتات. ويمكن حسابه حسب الحالات الآتية (Almagbile et al, 2019):

- الحالة الأولى: عندما يكون التساقط أكبر من التبخر/ النتج الكامن ( $P > PET$ ) فإن التبخر/ النتج الحقيقي يكون مساوياً للتبخر والنتج الكامن ( $PET = AET$ ) إذ تكون التربة مشبعة بالرطوبة.

- الحالة الثانية: عندما يكون التساقط أقل من التبخر/ النتج الكامن ( $P < PET$ ) فإن التبخر/ النتج الحقيقي يساوي التساقط مع إضافة ناتج التغير في الرطوبة في التربة  $AET = P + \Delta SWC_i$ .

$$(AET_i = p + \Delta SWC_i \& P_i (PET_i @ AET_i = PET_i \& P_i) PET_i) \quad (8)$$

يحدث العجز المائي عندما تكون معدلات التبخر/ النتج الكامن أعلى من معدلات سقوط الأمطار، ومن ثم فإن الأمطار تساوي التبخر/ النتج الحقيقي، ويحصل ذلك في الأشهر التي لا تتساقط فيها الأمطار. ويحدث الفائض عندما تزيد معدلات سقوط الأمطار عن معدلات التبخر/ النتج الكامن. ويُحسب عجز ماء التربة (SWD) والفائض (SWE) (Roy and Ophori, 2012 Dourdo et al. 2010): باستخدام:

$$SWD_i = PET_i - AET_i \quad (9)$$

$$SWE_i = P_i - PET_i - \Delta SWC_i \quad (10)$$

#### 4. قياس الرطوبة الحقيقية من التربة:

لقياس رطوبة التربة، استُخدمت طريقة التربة الحجمية (Gravimetric Soil Water Content)، وحسابها عن طريق أخذ عينات من التربة من منطقة الدراسة، ويتم وزن عينة التربة قبل إدخالها إلى لفرن، ثم وضعها في الفرن على درجة 105 درجة مئوية مدة 24 ساعة على الأقل، ثم توزن عينة التربة بعد إخراجها من الفرن. بعد ذلك تُحسب نسبة الماء بالنسبة لوزن العينة الكلي. ويمكن استخلاص الرطوبة من التربة باستخدام المعادلة الآتية (Alpana Shukla et al, 2014):

$$SWC = (Wet - Dry) / Dry \quad (11)$$

**swc**: رطوبة التربة الحجمية.

**Wet**: وزن عينة التربة من الحقل.

**Dry**: وزن عينة التربة الجافة.

#### 5. تحليل التباين الزمني والمكاني لرطوبة التربة

استُخدم التحليل الإحصائي لحساب التباين المكاني والزمني لرطوبة التربة، إذ استُخدم الوسط الحسابي المكاني  $\bar{\theta}_i$  والزمني  $\bar{\theta}_{ii}$  كما في المعادلات الآتية (Brocca et al, 2010):

$$\bar{\theta}_i = \frac{1}{n} \sum \theta_{ii} \quad (12)$$

$$\bar{\theta}_i = \frac{1}{n} \sum \theta_{ii} \quad (13)$$

إذ إنَّ  $\theta_{ij}$  تعني رطوبة التربة في العينة  $i$  واليوم  $j$ ،  $\bar{\theta}_i$  الوسط الحسابي المكاني لكل العينات لكل يوم من أيام القياس،  $\bar{\theta}_i$  الوسط الحسابي الزمني لكل الأيام، ولكل عينة،  $M$  و  $N$  هو عدد العينات وعدد أيام القياسات على التوالي. أما الانحراف المعياري المكاني  $\sigma_i$  و الزمني  $\sigma_i$  فيُحسب كما يأتي:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (\theta_{ij} - \bar{\theta}_i)^2} \quad (14)$$

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (\theta_{ij} - \bar{\theta}_i)^2} \quad (15)$$

أما معامل الاختلاف المكاني  $C \cdot V_i$  والزمني  $C \cdot V_i$  فيُحسب كما يأتي:

$$C \cdot V_i = \frac{\sigma_i}{\bar{\theta}_i} \quad (16)$$

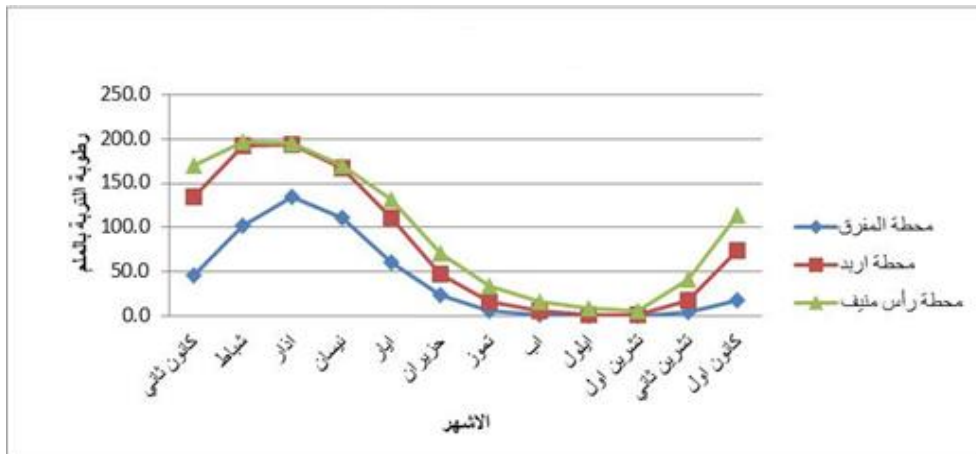
$$C \cdot V_i = \frac{\sigma_i}{\bar{\theta}_i} \quad (17)$$

#### التحليل والمناقشة:

أولاً: خصائص رطوبة التربة المقدرة: يُعبر عن رطوبة التربة Soil Moisture بكمية المياه الموجودة في التربة القابلة للاستغلال من النبات؛ أي التي يستطيع النبات امتصاصها، وتنحصر هذه الكمية القابلة للاستغلال من النبات بين السعة الحقلية (Field capacity) ونقطة الذبول (Wilting Point) اللذين يحددان محتوى التربة من الرطوبة، في حين ترتبط رطوبة التربة بعلاقة عكسية مع درجة الحرارة والتبخر، وبعلاقة طردية مع الأمطار، لذا؛ فإن رطوبة التربة تتباين مكانياً وزمنياً بحسب العناصر المناخية السائدة في مكان ما، ووقت معين، ويستعرض التحليل الآتي خصائص كل من الرطوبة المقدرة والرطوبة المقيسة:

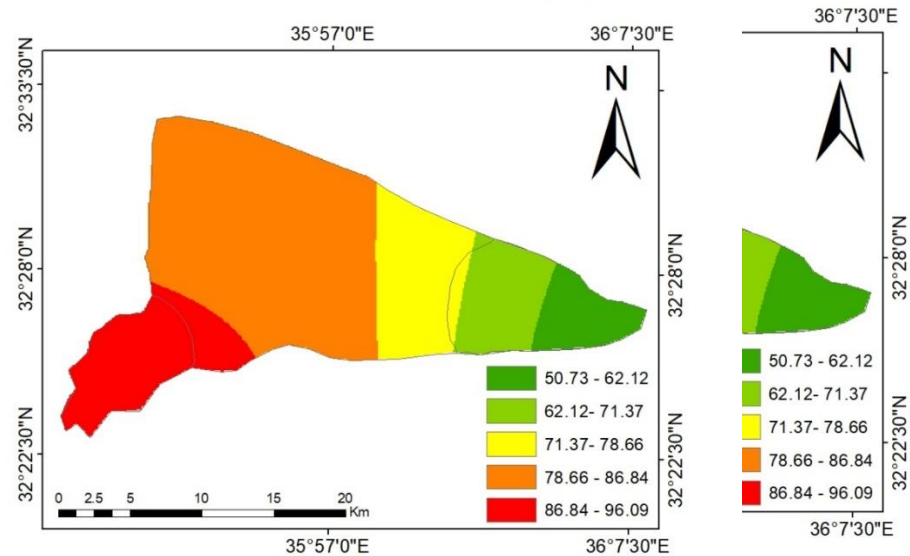
#### (c) 1. التباين المكاني والزمني لرطوبة التربة المقدرة

يتضح من (شكل 5) الذي يمثل المعدلات الشهرية لرطوبة التربة في (إربد ورأس منيف والمفرق) للمدة الزمنية (1977-2015) أن رطوبة التربة تصل إلى حالة التشبع وأعلى مستوى لها من تشرين الثاني ولغاية نيسان، وأن أعلى معدل لرطوبة التربة يصل إلى 196.8 ملم في شهر شباط في رأس منيف. في حين تصل إلى أدنى مستوى لها من أيار ولغاية تشرين الأول، ويُسجل أدنى معدل للرطوبة في تشرين الأول بمعدل يصل إلى 0.5 ملم، وذلك في المفرق. أما في إربد، فإن معدل رطوبة التربة في جميع الأشهر يكون أدنى مما هو عليه في رأس منيف، وأعلى من المعدلات المقدرة في المفرق. ويعود ذلك إلى طبيعة المناخ السائد الذي يتصف بالاعتدال مقارنة بعجلون والمفرق، وهذا بدوره ينعكس على اختلاف خصائص التربة، ومن ثم رطوبة التربة. وأن العامل الطبوغرافي أيضاً، يؤدي دوراً بارزاً في اختلاف درجات الحرارة وكميات الأمطار؛ مما يسبب التفاوت الزمني والمكاني في رطوبة التربة في محطات منطقة الدراسة.

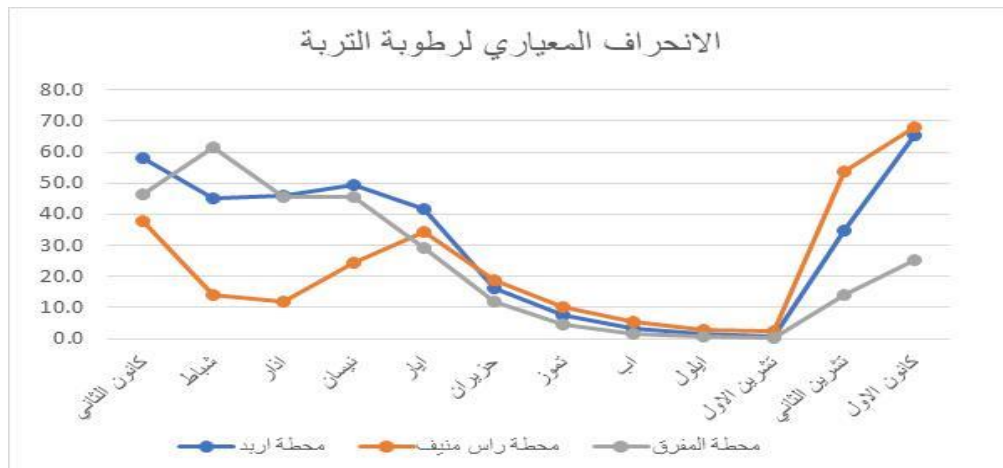


شكل 5: المتوسط الحسابي الشهري لرطوبة التربة في محطات الدراسة، اعداد الباحثين

وبين (شكل 6) أن متوسط رطوبة التربة يزداد جنوباً في رأس منيف، ويتراوح معدلها بين (84.75- 96.09) ملم، في حين تنخفض بالاتجاه شرقاً نحو المفرق، ويصل أدنى متوسط لها بين (50.73-62.0) ملم، في حين يبلغ المتوسط في إربد حوالي (73.41- 84.75) ملم. أما الانحراف المعياري لرطوبة التربة، فقد جرى تمثيله في (7)، ويظهر أن قيم الانحراف المعياري تأخذ بالتناقص مع اقتراب أشهر الصيف، في حين تزداد خلال الموسم المطري خصوصاً المدة الممتدة من تشرين الثاني حتى أيار، وذلك في جميع المحطات المناخية. وهذا يثبت أن التربة عندما تكون جافة، فإن اختلاف الرطوبة ثابت لا يتغير، في حين تختلف الأشهر في تلقيها للرطوبة عند هطول الأمطار. أما على الصعيد المكاني، فإن إربد والمفرق تختلف قيمهما من شهر لآخر أكثر من رأس منيف، وهذا يدل على أن فقدان رطوبة التربة وتزايدها في محطة رأس منيف، يتم على نحو بطيء مقارنة بالمحطات الأخرى.

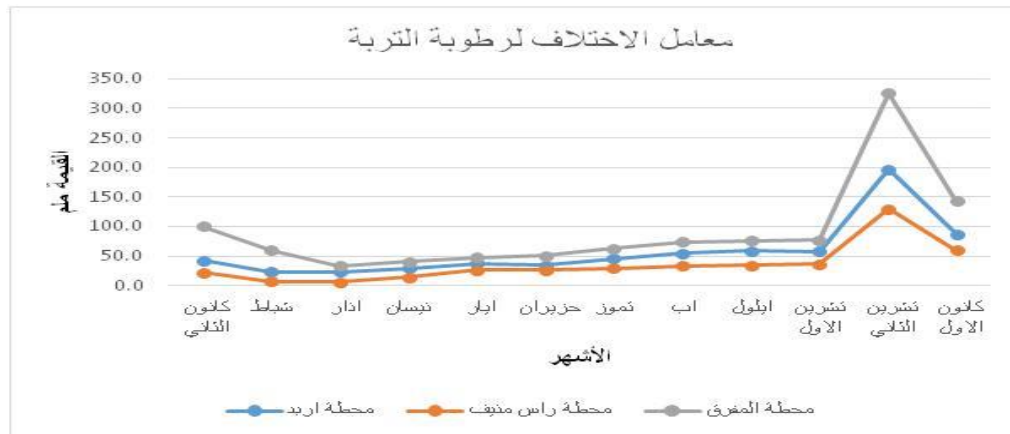


شكل 6: التوزيع الجغرافي للمتوسط السنوي لرطوبة التربة في محطات الدراسة للمدة الزمنية (1977-2015)، اعداد الباحثين



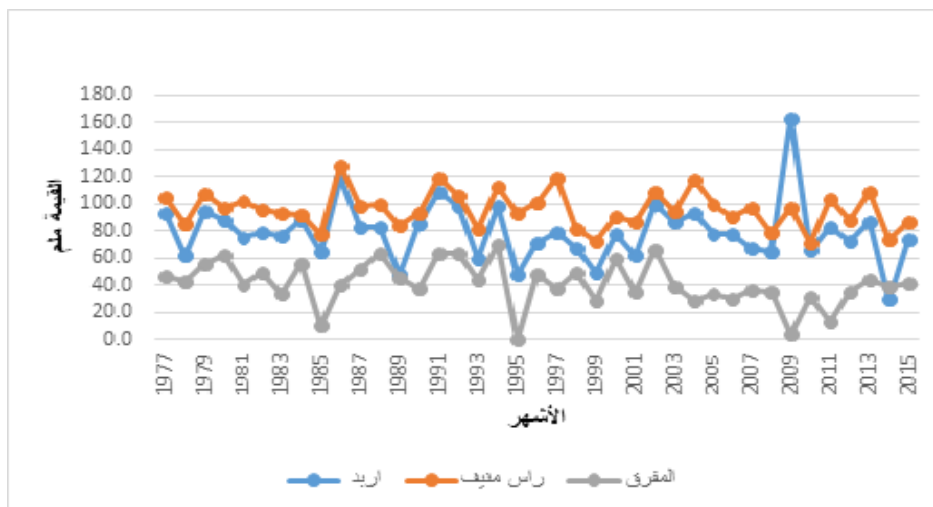
شكل 7: الانحراف المعياري الشهري لرطوبة التربة في محطات الدراسة، اعداد الباحثين

كما يبين (شكل 8) معامل الاختلاف لرطوبة التربة زمنياً ومكانياً؛ إذ يتراوح بين 6.2% إلى 32.5%. ومن الملاحظ أن أعلى القيم توجد في المفرق ثم إربد ورأس منيف، ويعود ذلك إلى تذبذب محتوى التربة من الرطوبة من مكان لآخر، فعندما تكون قيم رطوبة التربة مرتفعة، ينخفض قيم معامل الاختلاف. أما زمنياً فمن الواضح أن معامل الاختلاف يتزايد بمعدل كبير في شهر تشرين الثاني، وذلك في جميع المحطات. ويُعزى السبب في ذلك إلى تلقي التربة كميات من الماء في بداية سقوط الأمطار؛ مما يجعلها تختلف على نحو كبير عما كانت عليه خلال مدة الجفاف، ثم تبدأ بعدها القيم في الزيادة على نحو بطيء نسبياً.



شكل 8: معامل الاختلاف الشهري لرطوبة التربة في محطات الدراسة، اعداد الباحثين

يوضح (شكل 9) المتوسط السنوي لرطوبة التربة للمدة الزمنية الممتدة من 1977 إلى 2015 في جميع محطات الدراسة، ومن الملاحظ من هذا الشكل تذبذب رطوبة التربة في المحطات المناخية، ويتراوح المتوسط السنوي لرطوبة التربة بين (0.7 - 163.4) ملم، أي أن أعلى المعدلات الشهرية لرطوبة التربة سُجلت في إربد لجميع الشهور والتي تفوق المعدلات الشهرية في المحطات الأخرى، فبلغت الرطوبة (163.4) ملم في سنة 2009. أما أدنى متوسط لرطوبة التربة، فقد سُجلت في المفرق التي تشكل الجزء الشرقي لمنطقة الدراسة؛ إذ بلغت رطوبتها السنوية (0.7) ملم.



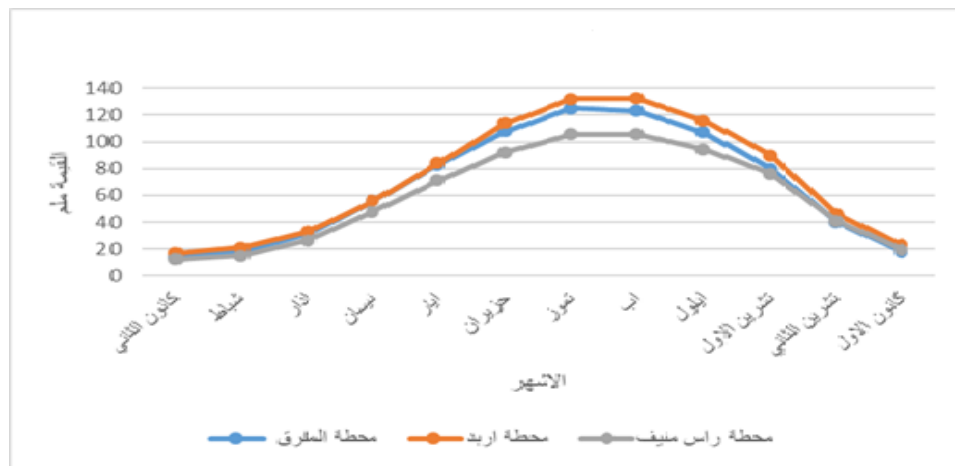
شكل 9: المتوسط الحسابي السنوي لرطوبة التربة في محطات الدراسة، اعداد الباحثين

## 2. التباين المكاني والزمني للتبخير/النتج الكامن

يوضح (الجدول 2 والشكل 10) أن المتوسط الشهري للتبخير/النتج الكامن كان منخفضاً خلال الفصل المطير مقارنة مع الفصول الأخرى، وذلك من تشرين ثاني حتى آذار، وبلغت القيم (41، 26.6، 15.1، 12.5، 19.5)، وسُجلت أدنى قيمة له في شهر كانون الثاني في محطات الدراسة الثلاثة، في حين ازدادت قيم المتوسط الشهري للتبخير بالاتجاه نحو فصل الصيف، وسُجلت أعلى قيمة في شهري تموز وآب، فقيم التبخير/النتج الكامن تتبع درجات الحرارة والهطول. أما على صعيد المحطات المناخية فمن الواضح أن محطة رأس منيف الواقعة في جنوب منطقة الدراسة، تنخفض فيها القيم عن بقية المحطات، في حين تزداد القيم في محطة إربد عن محطتي رأس منيف والمفرق.

الجدول 2: المتوسط الحسابي الشهري للتبخير/النتح الكامن (ملم) في محطات الدراسة

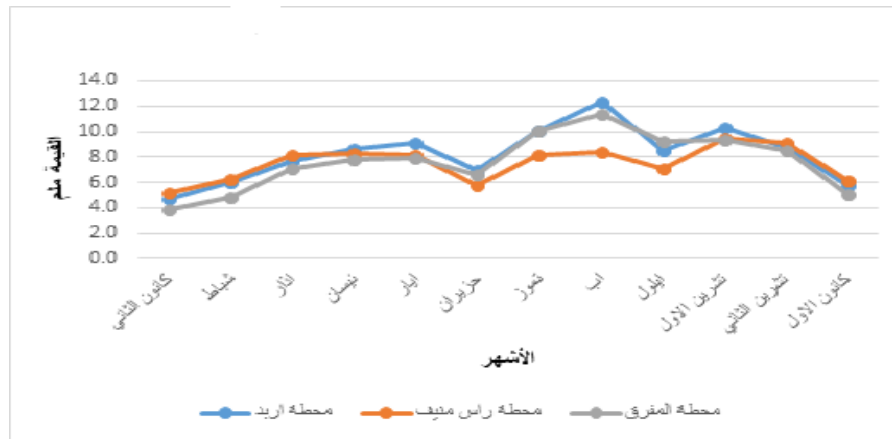
الشهر	المفرق	إربد	رأس منيف
كانون الثاني	14	16.9	12.5
شباط	18.4	21	15.1
آذار	31.4	33	26.6
نيسان	56	56	47.7
أيار	83.1	84.3	71.2
حزيران	108	114	92.1
تموز	125	132	105.7
أب	123.1	132.4	105.7
أيلول	107.1	116	94.7
تشرين الأول	80	90	76.3
تشرين الثاني	40.3	46.2	41
كانون الأول	18.2	23	19.5
المعدل	67.05	72.07	59.01



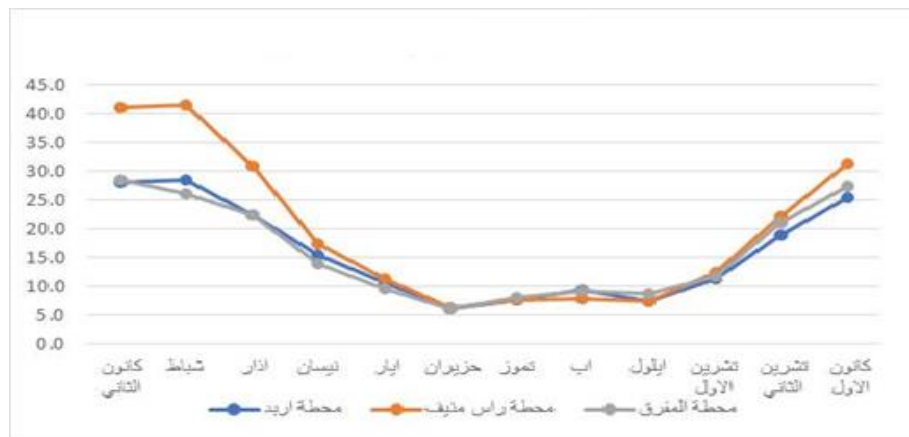
شكل 10: المتوسط الحسابي الشهري للتبخير/النتح الكامن في محطات الدراسة، اعداد الباحثين

أما الانحراف المعياري الشهري للتبخير/النتح الكامن، فيظهر في (شكل 11)، وتزايد قيم الانحراف المعياري بالاتجاه نحو أشهر الصيف، وسُجلت أعلى القيم في شهر آب، وتتناقص في أشهر الشتاء في أدنى مستوى في شهر كانون الثاني وذلك في جميع محطات الدراسة، ويتوافق هذا مع معدل التبخير/النتح الكامن الشهري، في حين يعاكس تمامًا الانحراف المعياري لرطوبة التربة التي تزايد قيمه في أشهر الشتاء، وتتناقص في أشهر الصيف. لذا؛ فإن تزايد القيم سواء أكانت أمطارًا أو درجات حرارة، سيؤدي إلى تزايد قيم الانحراف المعياري. ومن الواضح أيضًا أن محطة إربد، ترتفع فيها قيم الانحراف المعياري قليلًا عما هو موجود في محطتي رأس منيف والمفرق.

يبين (شكل 12) معامل الاختلاف للتبخير/النتح الكامن في محطات الدراسة، فمن الواضح أن معامل الاختلاف تزداد قيمه الشهرية في محطة رأس منيف أكثر مما عليه الحال في كل من محطة إربد والمفرق؛ إذ تُسجل أعلى القيم في محطة رأس منيف في شهري كانون الثاني وشباط، في حين تتناقص القيم في أشهر الصيف خصوصًا في شهر حزيران؛ إذ تبلغ قيمته في شهر شباط حوالي 41%، وتنخفض إلى 6% في شهر حزيران. ومن الملاحظ أيضًا أن محطتي إربد والمفرق تتوافق فيهما قيم معامل الاختلاف، وتظهر أعلى القيم في شهر كانون الثاني بما مقداره 28.2% و 28.5% على التوالي، في حين تتناقص في شهر حزيران في كلتا المحطتين إلى ما دون 10%.

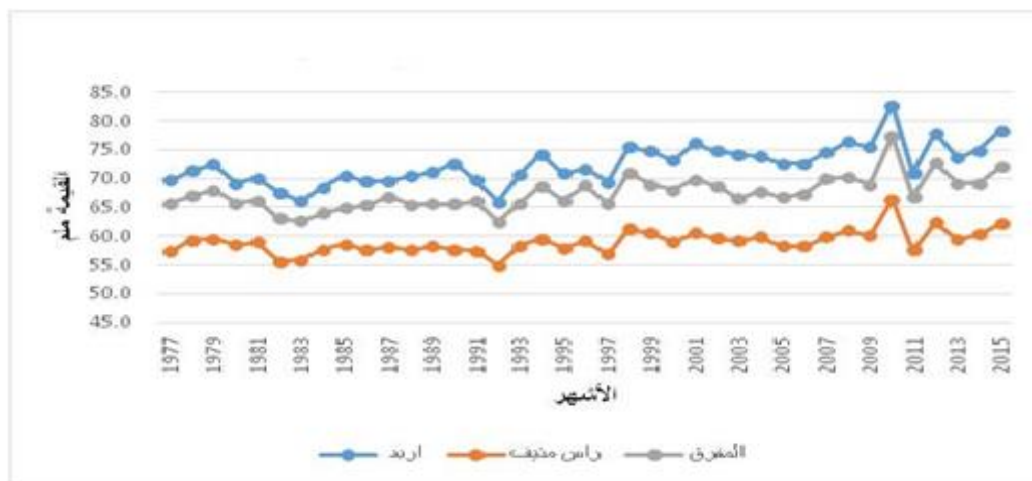


شكل 11: الانحراف المعياري الشهري للتبخير/النتج الكامن في محطات الدراسة، اعداد الباحثين

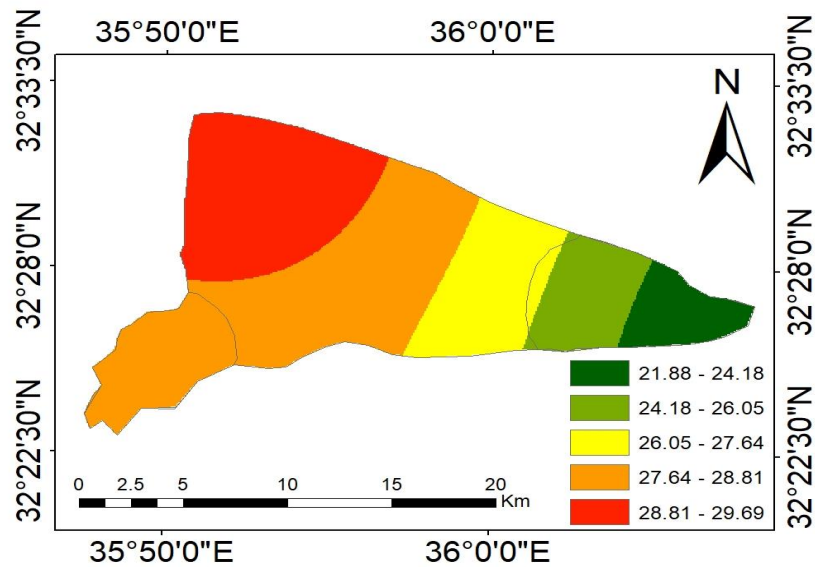


شكل 12: معامل الاختلاف الشهري للتبخير/النتج الكامن في محطات الدراسة.

يوضح (شكل 13 وشكل 14) المتوسط السنوي للتبخير-النتج الكامن في منطقة الدراسة. ومن الملاحظ من هذا الشكل تذبذب التبخير-النتج الكامن في المحطات المناخية، وتراجع واضح للتبخير-النتج الكامن بعد عام 1983 والذي بدأ بالارتفاع حتى وصل لأعلى مستوى في سنة 2010. ويتراوح المتوسط السنوي للتبخير-النتج الكامن بين (54.9-82.8)، ويلاحظ من الجدول أن أعلى المعدلات الشهرية للتبخير-النتج الكامن سُجلت في محطة إربد لجميع الشهور، والتي تفوق المعدلات الشهرية في المحطات الأخرى؛ إذ بلغت الرطوبة (82.8) في سنة 2010. أما أدنى متوسط للتبخير-النتج الكامن، فقد سُجلت في محطة رأس منيف التي تشكل الجزء الجنوبي لمنطقة الدراسة؛ إذ بلغ التبخير-النتج الكامن حوالي (54.9).



شكل 13: المتوسط السنوي للتبخير/النتج الكامن في محطات الدراسة، اعداد الباحثين



شكل 14: التوزيع الجغرافي للمتوسط السنوي للتبخير/النتح الحقيقي في محطات الدراسة

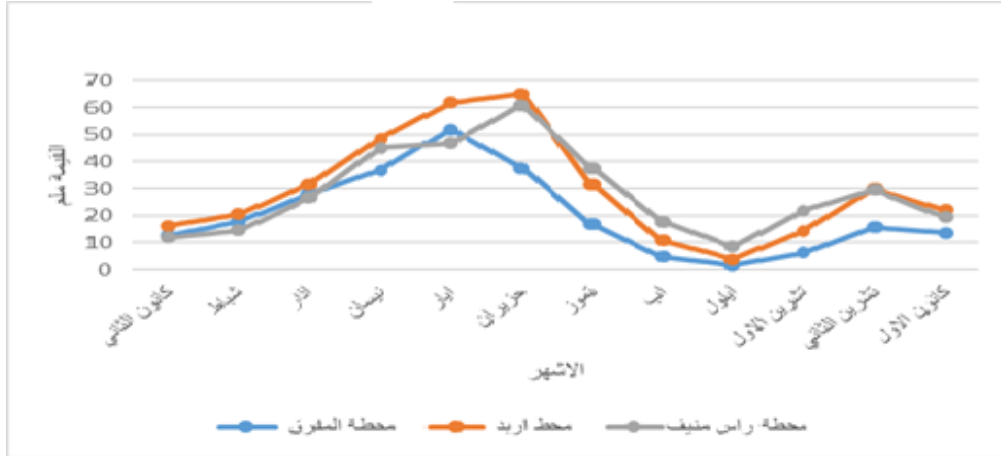
### 3. التباين المكاني والزمني للتبخير/النتح الحقيقي

وصل المعدل الشهري للتبخير/النتح الحقيقي لأدنى مستوى له في منطقة الدراسة في شهر أيلول في محطة المفرق فبلغ (1.6 ملم) في الجزء الشرقي لمنطقة الدراسة، في حين سُجل في محطتي إربد ورأس منيف في الشهر نفسه ما مقداره (3.8 و 8.6 ملم) على التوالي. ويعود سبب الانخفاض في هذا الشهر إلى نفاذ رطوبة التربة، وارتفاع درجات الحرارة التي تؤدي إلى زيادة التبخر. أما في أشهر الصيف، فإنَّ التبخر يستمر من التربة إلى أن يصل إلى أدنى قيمة له في نهاية آب وبداية أيلول. ثمَّ إنَّ أعلى قيم التبخر/النتح الحقيقي تُسجل في نهاية فصل الربيع وبداية فصل الصيف، وذلك لسببين: الأول أن محتوى التربة من الرطوبة يكون مرتفعًا، والثاني يعود إلى ارتفاع درجات الحرارة؛ إذ سُجل التبخر/النتح الحقيقي في شهر حزيران (64.9، 60.8، 37.6 ملم) في كل من إربد ورأس منيف والمفرق على التوالي. ويلاحظ أن محطة إربد تحظى بالقيم العليا مقارنة بالمحطات الأخرى، وربما يُعزى السبب إلى اختلاف خصائص التربة والتي تعدّ ذات سعة حقلية عالية نسبيًا، وتحتوي على كمية عالية من الرطوبة، لذا؛ فإن كمية التبخر تزداد تبعًا لذلك (الجدول 3، الشكل 15، الشكل 16).

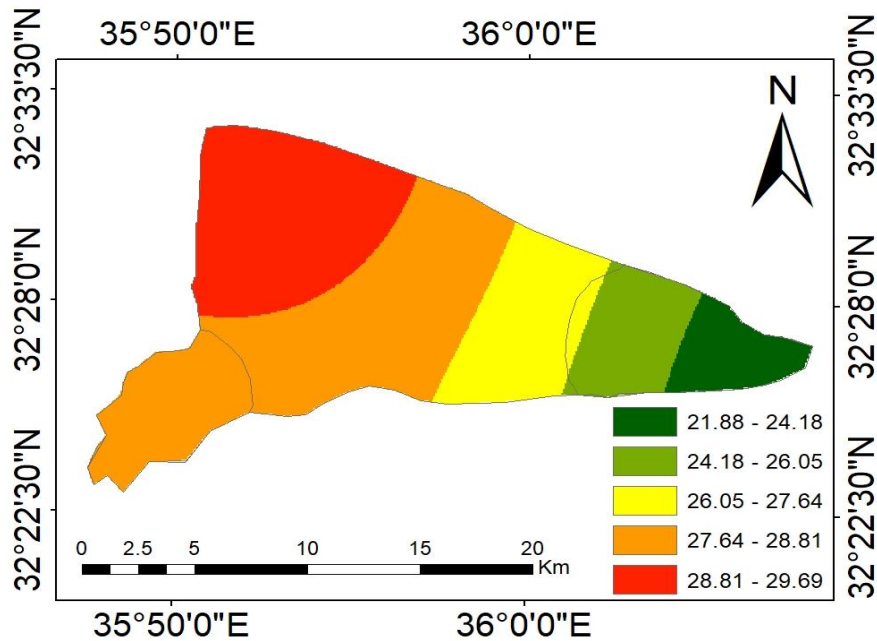
الجدول 3: المتوسط الشهري للتبخير/النتح الحقيقي (ملم) للمحطات المناخية للمدة الزمنية 1977-2015.

الشهر	محطة المفرق	محطة إربد	محطة رأس منيف
كانون الثاني	12.6	16.2	12
شباط	17.7	20.6	14.6
آذار	28	31.6	26.5
نيسان	36.8	48.4	45
أيار	51.8	61.8	46.7
حزيران	37.6	64.9	60.8
تموز	16.8	31.5	37.6
آب	4.8	10.7	17.8
أيلول	1.6	3.8	8.6
تشرين الأول	6.2	14.4	21.9
تشرين الثاني	15.7	29.9	29.6
كانون الأول	13.6	22.1	19.5
المتوسط السنوي	20.3	29.7	28.4





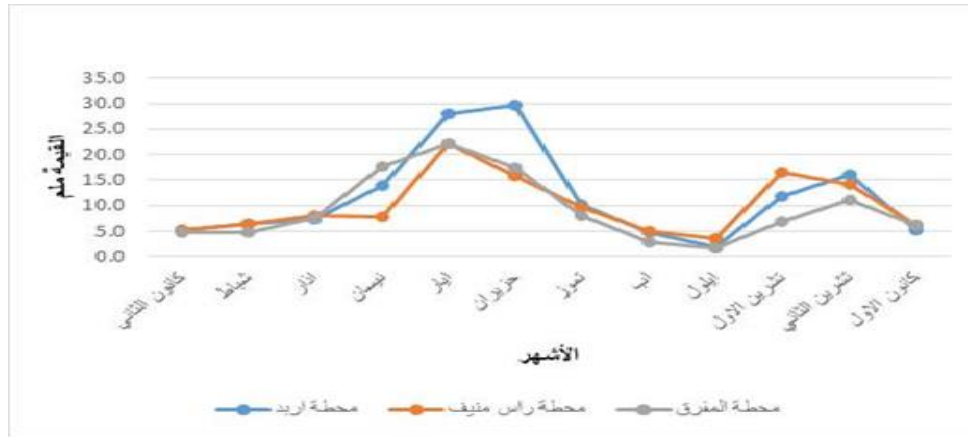
شكل 15: المتوسط الحسابي الشهري للتبخير/ النتج الحقيقي في محطات الدراسة



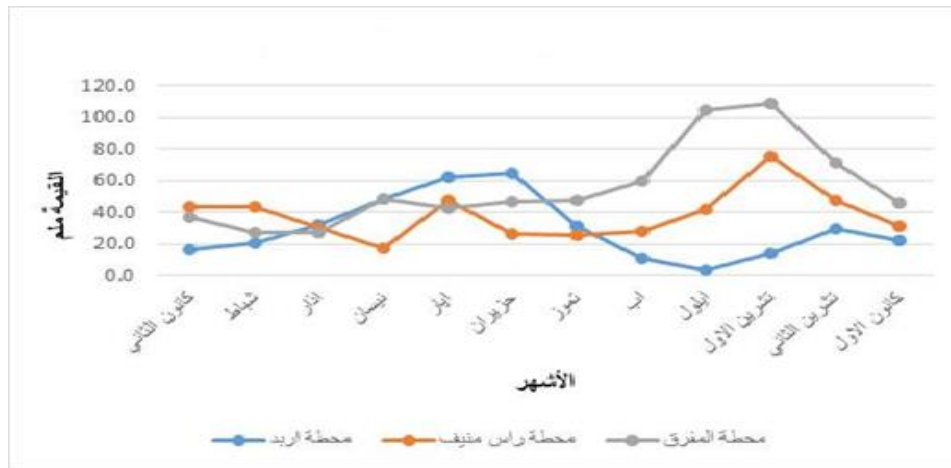
شكل 16: التوزيع الجغرافي للمتوسط السنوي للتبخير/ النتج الحقيقي في محطات الدراسة.

يبين (شكل 17) الانحراف المعياري لمعدل الشهري للتبخير/ النتج الحقيقي، ويظهر أن أعلى قيم الانحراف المعياري تُسجل عندما تكون قيمة التبخير/ النتج الحقيقي في أعلى مستوياتها، في حين تنخفض القيم إلى أدنى قيمة عندما يكون التبخير/ النتج الحقيقي منخفضاً، لذا؛ فإن أعلى قيمة سُجلت في شهري نيسان وحزيران، في حين كانت أدنى قيمة في شهر أيلول وذلك في جميع محطات الدراسة. وبما أن قيم الانحراف المعياري تتطابق مع قيم التبخير/ النتج الحقيقي فإن أدنى قيم التبخير سُجلت في محطة المفرق، وتزداد هذه القيم بالاتجاه شمالاً وغرباً، ويفسر هذا التدرج باختلاف السعة الحقلية من منطقة لأخرى. وتعدّ منطقة إربد ذات سعة حقلية كبيرة على النقيض من منطقة المفرق. أما معامل الاختلاف فيظهر من خلال سكان هناك تذبذباً في القيم حتى يبلغ أعلى قيمه له في شهري أيلول وتشرين الأول، فقد بلغ (18%)، (78%)، (102%) وذلك في كل من إربد ورأس منيف والمفرق على التوالي، ويُعزى ذلك إلى ارتفاع نسبة الرطوبة في التربة من الجفاف التام إلى كمية معينة قد تصل إلى السعة الحقلية عند بداية الموسم المطري.



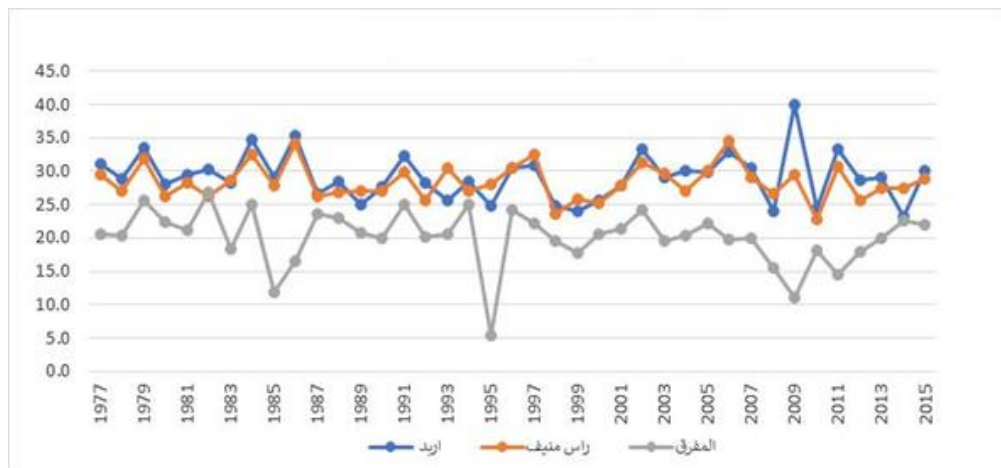


شكل 17: الانحراف المعياري للمتوسط الشهري للتبخر/النتج الحقيقي في محطات الدراسة، اعداد الباحثين



شكل 18: معامل الاختلاف للمتوسط الشهري للتبخر/النتج الحقيقي في محطات الدراسة، اعداد الباحثين

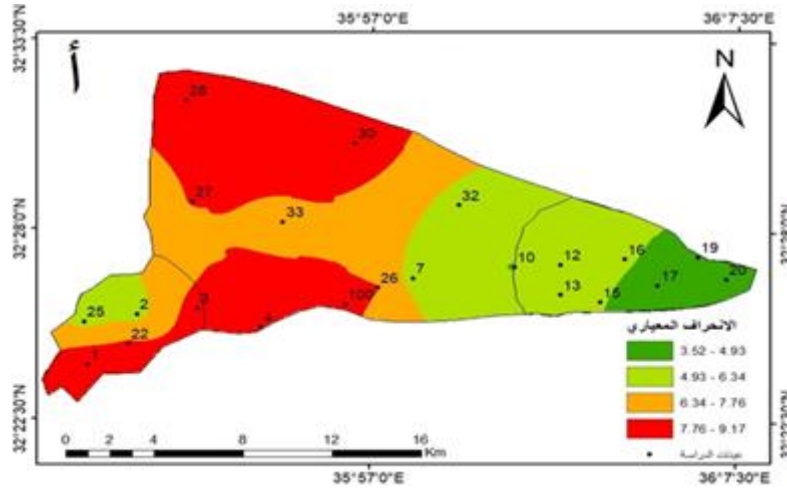
ويوضح Error! Reference source not found. المتوسط السنوي للتبخر/النتج الحقيقي في منطقة الدراسة. ومن الملاحظ من هذا الشكل تذبذب التبخر/النتج الحقيقي في المحطات المناخية؛ إذ يتراوح المتوسط السنوي للتبخر/النتج الحقيقي بين (5.4 و 54 ملم)، ويُلاحظ أن أعلى المتوسطات السنوية سُجّلت في محطة إريد لجميع الشهور والتي تفوق المحطات الأخرى؛ إذ بلغت (40 ملم) في سنة 2009. أما أدنى قيمة، فقد سُجلت في محطة المفرق التي تشكل الجزء الشرقي لمنطقة الدراسة، وبلغت نحو (5.4 ملم) في سنة 1995.



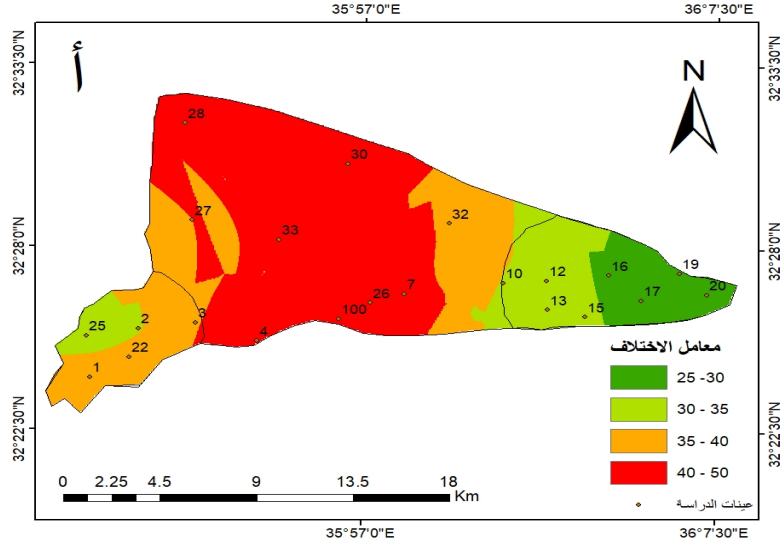
شكل 19: المتوسط السنوي للتبخر/النتج الحقيقي في محطات الدراسة، اعداد الباحثين

### ثانياً: التوزيع المكاني والزمني لرطوبة التربة المقيسة

لمعرفة التباين المكاني لرطوبة التربة في منطقة الدراسة، استُخدم الإحصاء الوصفي والممثل في الانحراف المعياري، ومعامل الاختلاف. ومن الملاحظ أن قيم الانحراف المعياري ومعامل الاختلاف التي تظهر في Error! Reference source not found و Error! Reference source not found. تزداد بالاتجاه شمالاً وغرباً سواء على مستوى المنطقة أو على المستوى المحلي. فعلى سبيل المثال، ظهرت أعلى قيم الانحراف المعياري ومعامل الاختلاف على مستوى المنطقة في العينات (28، 1، 4، 30، 27، 3، 100) بقيم تتراوح بين (7.7 إلى 9.1) و (37.2 إلى 38.5) على التوالي. في حين ظهرت أدنى القيم في العينات (20، 17، 19). أما بقية العينات، فقد تراوحت قيم الانحراف المعياري ومعامل الاختلاف فيها بين (4.9 إلى 7.1) و (34.6 إلى 37.1) على التوالي.

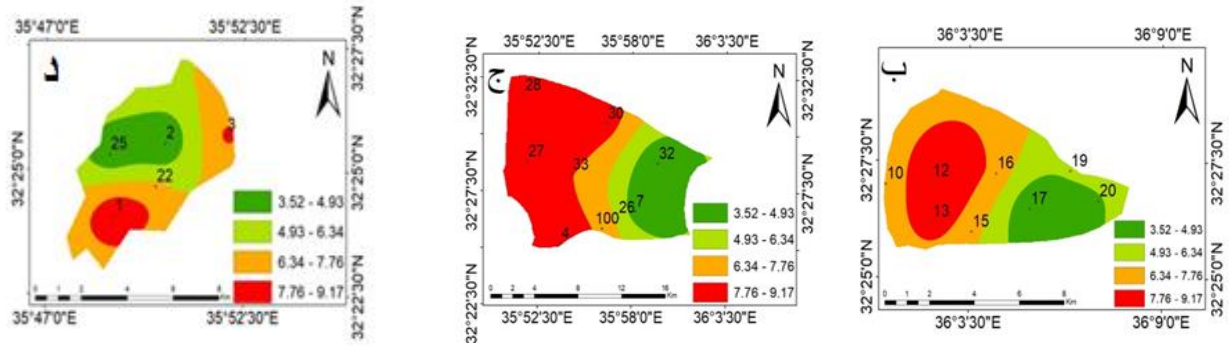


شكل 20: التوزيع الجغرافي للانحراف المعياري لعينات التربة، اعداد الباحثين

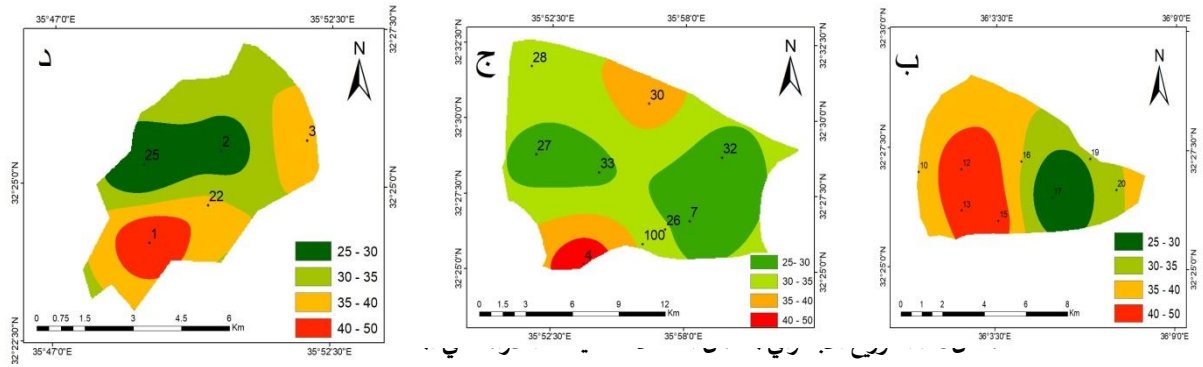


شكل 21: التوزيع الجغرافي لمعامل الاختلاف لعينات التربة، اعداد الباحثين

أما على الصعيد المحلي، فيمكن ملاحظة تباين قيم الانحراف المعياري ومعامل الاختلاف من عينة إلى أخرى من خلال Error! Reference source not found و Error! Reference source not found. (ب، ج، د). وفي المنطقة (ب) سُجِّلَت أعلى قيم الانحراف المعياري (7.6 إلى 9.1) في العينات (12، 13)، في حين تراوحت أعلى قيم معامل الاختلاف بين (37.2 إلى 38.5)، فظهرت في العينات (12 و 13 و 15). وتراوحت أدنى قيم الانحراف المعياري بين (3.5 إلى 4.9) في العينات (17 و 20) وقيم معامل الاختلاف بين (33.3 إلى 34.6) في العينة (17). ومن الملاحظ أيضاً أن هناك تدرجاً في القيم في المنطقة (ج) وتزداد بالاتجاه نحو الشمال والشمال الغربي. أما المنطقة الجنوبية (د)، فإن التعقيد الطبوغرافي يؤدي دوراً بارزاً في تباين قيم الانحراف المعياري ومعامل الاختلاف فيها، ويلاحظ أن العينة (1 و 3) سُجِّلَت أعلى القيم، في حين سُجِّلَت أدنى القيم في العينات (25 و 2).



شكل 22: التوزيع الجغرافي للانحراف المعياري لعينات التربة في المناطق الفرعية، اعداد الباحثين



ومن الجدير ذكره أن سبب هذا التباين سواء على مستوى المنطقة الكلية أو المناطق المحلية يعود إلى اختلاف كميات الأمطار، وإلى عدم التجانس الطبوغرافي، بالإضافة إلى الخصائص الفيزيائية للتربة من حيث النسيج والمسامية والنفاذية. فالتعقيد الطبوغرافي كالانحدار واتجاه المنحدر كما في المنطقة (د) أدى إلى اختلاف رطوبة التربة من عينة لأخرى على الرغم من تقارب المسافات بين عينات المنطقة. أما المنطقة (ج) فإن التجانس في الطبوغرافيا أدى إلى ظهور نمط واضح في تباين رطوبة التربة والذي يُعزى إلى اختلاف خصائص التربة بالاتجاه غرباً وشمالاً. ويلاحظ أيضاً أن المنطقة (ب) تقلل فيها الأمطار، وتميل طبيعة التربة إلى خصائص التربة الرملية ذات السعة الحقلية القليلة؛ لذلك فإنّ التباين يعود إلى الاختلاف الطبوغرافي – وإن كان محدوداً – من منطقة لأخرى، وتزداد قيم الرطوبة في العينات الموجودة في قيعان المنحدرات؛ لأنها تشكل تجمعاً لمياه الأمطار مدة زمنية معينة.

#### ملخص النتائج:

1. فيما يتعلق بالرطوبة المقيسة:
  - ازدادت قيم الانحراف المعياري ومعامل الاختلاف بالاتجاه شمالاً وغرباً سواء، فظهرت أعلى قيم الانحراف المعياري ومعامل الاختلاف على مستوى المنطقة بقيم تراوحت بين (7.7 إلى 9.1) و (37.2 إلى 38.5) على التوالي.
  - تزداد قيم الرطوبة لعينات التربة في قيعان المنحدرات؛ لأنها تشكل تجمعاً لمياه الأمطار، وقد تباينت قيم الانحراف المعياري ومعامل الاختلاف على الصعيد المحلي من عينة إلى أخرى؛ إذ ظهر تدرج في القيم في المنطقة (ج) ازدادت بالاتجاه نحو الشمال والشمال الغربي.
  - تباينت قيم الانحراف المعياري ومعامل الاختلاف من عينة إلى أخرى في المنطقة الشرقية سُجِّلَت أعلى قيم الانحراف المعياري (7.6 إلى 9.1)، في حين تراوحت أعلى قيم معامل الاختلاف بين (37.2 إلى 38.5)، وتراوحت أدنى قيم الانحراف المعياري بين (3.5 إلى 4.9)، وقيم معامل الاختلاف بين (33.3 إلى 34.6).
  - يؤدي التعقيد الطبوغرافي في الجزء الجنوبي من منطقة الدراسة دوراً بارزاً في تباين قيم الانحراف المعياري ومعامل الاختلاف فيها، ويعود ذلك إلى اختلاف كميات الأمطار، وإلى عدم التجانس الطبوغرافي، بالإضافة إلى الخصائص الفيزيائية للتربة من حيث النسيج والمسامية والنفاذية،

- أما المنطقة (ج) فإن التجانس في الطبوغرافيا أدى إلى ظهور نمط واضح في تباين رطوبة التربة. أما المنطقة (ب)، حيث تميل طبيعة التربة إلى خصائص التربة الرملية ذات السعة الحقلية القليلة؛ لذلك فإنَّ التباين يعود إلى الاختلاف الطبوغرافي – وإن كان محدوداً – من منطقة لأخرى.
2. أما فيما يتعلق بالقيم المقدرة لرطوبة التربة والتبخر والنتج:
- تصل رطوبة التربة إلى حالة التشبع، وإلى أعلى مستوى لها من تشرين الثاني ولغاية شهر، وأنَّ أعلى معدل لرطوبة التربة يصل إلى 8.196 ملم في شهر شباط في رأس منيف، بينما تصل رطوبة التربة إلى أدنى مستوى لها من أيار ولغاية تشرين الأول، ويُسجَّل أدنى معدل للرطوبة في تشرين الأول بمعدل يصل إلى 0.5 ملم، وذلك في المفرق.
  - يزداد متوسط رطوبة التربة جنوباً في رأس منيف، ويتراوح معدلها بين (84.75- 96.09) ملم، في حين تنخفض بالاتجاه شرقاً نحو المفرق، ويصل أدنى متوسط لها بين (50.73- 62.0) ملم، في حين يبلغ المتوسط في إربد بين (73.41- 84.75) ملم.
  - يتراوح معامل الاختلاف لرطوبة التربة مكانياً بين 6.2% إلى 32.5%، حيث سُجِّلَت أعلى القيم في المفرق، ثم إربد ورأس منيف، ويعود ذلك إلى تذبذب محتوى التربة من الرطوبة من مكان لآخر، أما زمنياً فإنه يتزايد بمعدل كبير في شهر تشرين الثاني؛ بسبب تلقي التربة كميات من الماء في بداية الموسم المطري.
  - يتراوح المتوسط السنوي لرطوبة التربة بين (0.7 - 163.4) ملم، فأعلى المعدلات الشهرية لرطوبة التربة سُجِّلَت في إربد لجميع الشهور فبلغت (163.4) ملم في السنة، بينما سُجِّل أدنى متوسط لرطوبة التربة (0.7) ملم في المفرق.
  - بلغت قيم معامل الاختلاف للتبخر/ النتج الكامن الشهرية في شهر شباط حوالي 41%، وانخفضت إلى 6% في شهر حزيران.
  - تراوح المتوسط السنوي للتبخر/ النتج الحقيقي بين (5.4 و 54 ملم)؛ وسُجِّلَت أعلى المتوسطات السنوية في محطة إربد لجميع الشهور والتي تفوق المحطات الأخرى؛ إذ بلغت (40 ملم) في سنة 2009.

#### المصادر والمراجع

- أبو سمور، حسن (2013)، الجغرافية الحيوية والتربة، دار المسيرة، عمان، الأردن.
- أبو سمور، حسن والخطيب، حامد، (1999)، جغرافية الموارد المائية. عمان، الاردن.
- عابد، عبد القادر، (2000)، جيولوجيا الأردن وبيئته ومياهه، منشورات نقابة الجيولوجيين الاردنيين، سلسلة الكتب العلمية1، عمان، الاردن.
- عنانزة، علي، (1996)، الموازنة المائية بناءً على معدلات الأمطار وكميات التبخر والنتج المحتملة في حوض وادي الكرك، مؤنة للبحوث والدراسات، المجلد: 11، العدد (5).
- الصباحة، نوح وزيتون، محمد، (2018)، تحليل العلاقات الإحصائية بين المتغيرات المورفومترية للأحواض المائية في الأقاليم شبه الجافة (حوض وادي العرب: دراسة حالة)، مجلة كلية الآداب جامعة القاهرة، المجلد: 87، العدد (3).

#### References

- Abed, Abdel Qader, (2000). Jordan's Geology, Environment and Water, Publications of the Jordanian Geologists Association, Scientific Books Series 1, Amman, Jordan.
- Abu Samour, Hassan (2013). Biogeography and Soil, Dar Al Masirah, Amman, Jordan.
- Abu Samour, Hassan and Khatib, Hamed, (1999). Geography of Water Resources. Amman Jordan.
- Almagbile, Ali. Zeitoun, Mohammad. Hazaymeh, Khaled. Abu sammour. Sababha, Noah. (2019). Statistical analysis of estimated and observed soil moisture in sub-humid climate in north-western Jordan. Springer Nature Switzerland AG 2019.
- Ananzah, Ali, (1996). Water Balance Based on Rain Rates and Potential Evaporation and Transpiration in the Karak Valley Basin, Mutah for Research and Studies, Volume: 11, Number (5).
- Bender, F. (1974). Geology of Jordan, Berlin ; Stuttgar: Gebr. Borntraeger.
- Brocca, L., Melone, F., Moramarco, T., & Morbidelli, R. (2010). Spatial-temporal variability of soil moisture and its estimation across scales. Water Resources, 46, W02516.
- Cosh, M. H., Jackson, T.J., Moran, S. & Bindlish, R.(2008).Temporal persistence and stability of surface soil moisture in a semi-arid watershed. Remote sensing of Environment, 112, 304-313.
- Dourado, N.D., Van Lier, Q.J., Metselaar, K., Reichardt, K., & Nielsen, R.D.(2010). General procedure to initialize the cyclic soil water balance by the Thornthwaite and Mather method. Scientia Agricola (Piracicaba, Braz), 67(1), 87-95.

- Kumar, K., Arora, M.K., Hariprasad, K.S., (2016). Geostatistical analysis of soil moisture distribution in a part of the Solani River catchment. *Appl Water Sci* 6:25–34.
- Majdar, Vafakhah, Sharifikia& Ghorbani. (2018) Spatial and temporal variability of soil moisture in relation with topographic and meteorological factors in the south of Ardabil Province, Iran. Springer Nature Switzerland AG 2018.
- Nouh. AL-SABABH & Zeitoun.Mohammad, (2018), Statistical relations analysis between morphometric variables of semi-arid basins (Wadi Al-Arab basin-Case Study), *Journal of the Faculty of Arts, Cairo University*, Volume: 87, Issue (3).
- Romshoo, S.A. (2004). Geostatistical analysis of soil moisture measurements and remotely sensed data at different scales. *Environ. Geol.* 45:339–349.
- Shehadeh, Nuaman. (1995). Simulation of Water Requirement and Moisture Consumption in Northern Jordan. *Bulletin of Arab Research and Studies*, Vol. 24.
- Steenhuis, T., & Van der Molen, W, H. (1986). The Thornthwaite-Mather procedure as a simple engineering method to predict recharge. *Journal of Hydrology*, 84, 221-229.
- Thornthwaite, C, W., & Mather, J.R. (1955). The water balance: Center on, N.J., Laboratory of climatology. *Publications in climatology*, 8(1), 1.104.
- Thornthwaite, C. W., & Mather, J. R. (1957). Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Publications in Climatology*, 10, 185 –311
- Zeitoun, Mohammad, (2016). The Analysis of the Water Balance of the Soil in the North of Jordan during (1970 - 2009), *An - Najah Univ. J. Res. (N. Sc.)* Vol. 30.
- Zhang. P, & Shao. M, (2013). Temporal stability of surface soil moisture in a desert area of northwestern China, *Journal of Hydrology*, Vol: 505, P: 91-101.
- Zytoon, Mohammad. & Shehadeh, Numan., (2016). Climate Change Indicators in the North of Jordan, *Dirasat: Human and Social Sciences - Volume 6*, Appendix 2.