

# The North African Journal of Scientific Publishing (NAJSP)

مجلة شمال إفريقيا للنشر العلمي (NAJSP)

E-ISSN: 2959-4820

Volume 2, Issue 3, July – September 2024, Page No: 65-70

Website: <https://najsp.com/index.php/home/index>

SJIFactor 2023: 3.733

معامل التأثير العربي (AIF) 2023: 0.63



ISI 2023: 0.383

## تأثير المحتوى الرطوبي المبدئي للتربة على معدل الرش

ميلاد محمد محمد الجطلاوي\*  
مركز أبحاث شجرة الزيتون، جامعة المرقب، الخمس، ليبيا

### Effect of initial moisture content of soil on Infiltration rate

Milad Mohamed Eljetlawi \*

Olive Tree Research Center, Elmergib University, Al-Khums, Libya

\*Corresponding author

[eljetlawimilad@gmail.com](mailto:eljetlawimilad@gmail.com)

\*المؤلف المراسل

تاريخ النشر: 2024-07-26

تاريخ القبول: 2024-07-19

تاريخ الاستلام: 2024-05-28

المخلص:

تم إجراء تجربة حقلية في أحد حقول كلية الزراعة بجامعة طرابلس لقياس معدل الرش باستخدام الاسطوانة المزدوجة، بهدف توضيح تأثير المحتوى الرطوبي المبدئي للتربة على معدل الرش. نفذت التجربة في شهر أكتوبر على مرحلتين، قبل وبعد سقوط الأمطار، وأظهرت النتائج ازدياد المحتوى الرطوبي مع زيادة عمق التربة بعلاقة طردية قوية، مما أدى إلى تناقص معدل الرش مع الزمن في المرحلتين، حيث بلغ متوسط معدل الرش قبل هطول الأمطار 4.32 cm/hr ثم انخفض إلى 2.56 cm/hr بعد هطول الأمطار، ومعدل الرش للتربة كان معتدل حسب دليل مسوحات التربة الأمريكي المعتمد في تصنيف الترب الليبية، أما الرش التراكمي فقد ازداد مع الزمن بعلاقة طردية قوية في المرحلتين حيث بلغ متوسط عمقه 20.7 mm قبل هطول الأمطار ثم انخفض إلى 17.6 mm، وتدرج هذه النتائج تحت المدايات الشائعة في الترب الليبية.

الكلمات المفتاحية: المحتوى الرطوبي، معدل الرش، الرش التراكمي، كوستياكوف.

#### Abstract

A field experiment was conducted in one of the fields of the Faculty of Agriculture, University of Tripoli, to measure the infiltration rate using a double cylinder, to clarify the effect of the initial moisture content of the soil on the infiltration rate. The experiment was conducted in October in two stages, before and after rainfall, and the results showed an increase in moisture content with an increase in soil depth in a strong direct relationship, which led to a decrease in the infiltration rate with time in both stages, as the average infiltration rate before rainfall was 4.32 cm/hr and then decreased to 2.56 cm/hr after rainfall, and the soil infiltration rate was moderate according to the American Soil Surveys Guide adopted in classifying Libyan soils, while the cumulative infiltration increased with time in a strong direct relationship in both stages, as its average depth reached 20.7 mm before rainfall and then decreased to 17.6 mm, and these results fall within the common ranges in Libyan soils.

**Keywords:** Moisture content, infiltration rate, cumulative infiltration, Kostyakov.

#### 1. المقدمة:

ماء التربة يمثل جزءاً صغيراً من كمية المياه الكمية في كوكبنا، إلا أنه يعتبر من أهم العوامل التي تلعب دوراً حيوياً من ناحية تيسر المياه بالنسبة للنبات في منطقة انتشار الجذور، في العموم ينقسم الهطول أو ماء الري إلى ثلاثة أجزاء، جزء يحدث له جريان سطحي وجزء آخر يتسرب إلى داخل التربة بالإضافة إلى البخر الذي يحدث خلال هذه العمليات. (Hickok and Osborn, 1969)، ومن المعلوم أن المحتوى الرطوبي للتربة في حالة تغير مستمر حسب كمية الماء المضافة عن طريق الري أو الأمطار، لذلك يعتبر تحديد المحتوى الرطوبي للتربة له أهمية

بالغة لكثير من الاختصاصات، فالمزارعون يولون اهتماماً كبيراً لمعرفة المحتوى الرطوبي لغرض جدولة عمليات الري لتحسين مستوى الإنتاج في وحدة المساحة. (عواد، 2003). يطلق على حركة الماء من سطح التربة إلى داخلها عمودياً إلى أسفل بالرشح (Infiltration)، وتسمى كمية الماء التي تدخل التربة في زمن معين بالرشح التراكمي (Cumulative Infiltration)، ويعبر عنه بوحدات الطول. أما معدّل الرشح (Infiltration rate) فهو عبارة عن عمق الماء الذي يمر خلال سطح التربة في وحدة الزمن وبالتالي فإن وحدته وحدها سرعة. يعتبر الرشح ذو أهمية كبيرة، حيث يحدد كمية مياه الري والأمطار التي تصل إلى منطقة الجذور في التربة وتغذية المياه الجوفية، وإذا ما تتبعنا معدل دخول الماء خلال سطح التربة مع الزمن نجد أنه يكون أسرع ما يمكن عند بدء إضافة الماء للتربة وذلك نتيجة للفرق الكبير بين جهد الماء الحر عند سطح التربة وجهد في التربة (خاصة الجافة) ثم تتباطأ حركة الماء بالتدرج إلى أن يصل إلى معدل ثابت يسمى معدل الرشح السطحي الأساسي للتربة والذي يساوي معامل التوصيل الهيدروليكي المشبع للتربة، يتم الاعتماد على معدل الرشح السطحي للتربة في تصميم الري بالرشح إذ يجب ألا يتعدى معدل إضافة الماء بالرشاشات قيمة معدل الرشح، وفي حالة ما يكون معدل الإضافة أكبر من معدل الرشح تتراكم المياه على سطح التربة مما يؤدي إلى حدوث جريان سطحي وانجراف التربة (بن محمود و اخرون، 1995).

خلال القرن الماضي تم تطوير العديد من النماذج لوصف رشح الماء في التربة، حيث تم تقسيم هذه النماذج إلى نماذج مبنية على أساس فيزيائي ونماذج مبنية على أساس شبيه تجريبي وأخرى مبنية على أساس تجريبي Mishra (et al, 1999)، حيث تعتبر النماذج ذات الأساس الفيزيائي تقريبا لحل معادلة ريتشارد (Shukla et al 2003) (Swartzendruber, 1987 ؛ Philip 1957d ؛ Green and Ampt, 1911) ، ومن أمثلة هذه النماذج (Horton, 1940)، أما النماذج التجريبية تم إنشاؤها على بيانات مقيسة من التجارب الحقلية، وثابت هذا النوع من النماذج يتم الحصول عليها من أفضل تطابق من البيانات الحقلية، ومن أمثلة هذه النماذج (Kostiakov, 1932)، كما تجدر الإشارة إلى أن العديد من البحوث استخدمت تقنية الشبكات العصبية الاصطناعية (Artificial Neural Networks, ANNs) لنمذجة خصائص رشح الماء في التربة منها (Nestor, 2006 ؛ Ekhmaj, 2010) ، وفي سياق ذلك وجد (Musa and Adeoye, 2010) أن نموذج كوستياكوف كان أداءه أفضل مقارنة بنموذجي فيليب وهورتون، كما درس (Fahad, 1982) تأثير محصول فول الصويا وبعض المحاصيل الأخرى على الرشح ووجد أن نماذج فيليب وكوستياكوف كان أدائها جيدا، كما أشار (Green and Ampt, 1911) إلى أن هناك عدد من العوامل التي تؤثر على رشح الماء في التربة، من أهم هذه العوامل المحتوى الرطوبي الابتدائي للتربة، قوام التربة، مساميتها، بناؤها، وجود الشقوق من عدمها، ومعدّل إضافة الماء للتربة. في دراسة قام بها (شاكلي، 2022) لتقدير معدل الرشح السطحي ببعض المواقع بمنطقة وادي الحياة باستخدام نموذج كوستياكوف، أظهرت النتائج المتحصل عليها أن معدل الرشح السطحي في الموقع الأول بمنطقة الأبيض كان متوسط إلى سريع بينما في الموقع الثاني بمنطقة الحطية كان سريع جداً، وهذا يعني أنها تقع ضمن المديات الشائعة في الترب اللبينية، كما درس (عبد العاطي ومومن، 2016) أداء بعض معادلات تقدير الرشح لبعض ترب الجبل الأخضر، ليبيا، وأن نموذج كوستياكوف كان أداءه جيد لوصف معدّل الرشح في منطقة الدراسة. أولى الكثير من العاملين في إدارة التربة والمياه موضوع الرشح أهمية كبيرة، لأنه يمثل حلقة وصل ذات الأهمية البالغة لفهم العلاقة بين هطول الأمطار أو عمليات الري والجريان السطحي وتعد معرفة عملية الرشح ومدى تأثير خصائص التربة الفيزيائية والكيميائية المختلفة فيها من المستلزمات الضرورية للإدارة الجيدة للتربة والمياه، وبالتالي تهدف هذه الدراسة إلى دراسة تأثير المحتوى الرطوبي المبدئي للتربة على عملية الرشح في التربة.

## 2. مواد وطرق البحث:

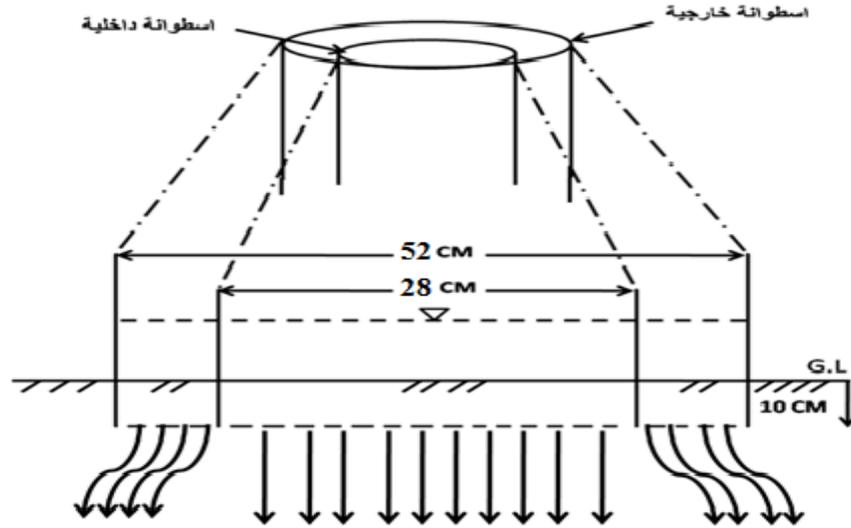
نفدت هذه الدراسة بمزرعة كلية الزراعة، جامعة طرابلس، لقياس الرشح والمحتوى الرطوبي للتربة، تم إجراء التجربة على مرحلتين، الأولى بداية شهر أكتوبر قبل موسم سقوط الأمطار، والثانية نهاية شهر أكتوبر بعد هطول الأمطار بيومين، حيث تم تحديد قوام التربة في المعمل باستخدام التحليل الميكانيكي بطريقة الهيدرومتر ومثلث القوم حسب التصنيف الأمريكي، كذلك قياس الكثافة الظاهرية باستخدام اسطوانة الكثافة بعد حفر قطاع تربة لعمق 30 cm وأخذ متوسط ثلاث أعماق ( 10 -20 -30 cm ) لثلاث مواقع متباعدة، تم قياس المحتوى الرطوبي للتربة باستخدام الأوجر بعمق 30 cm وحسابه بالطريقة الوزنية في المعمل، ومنه تم الحصول على المحتوى الرطوبي الحجمي قبل وبعد إجراء قياس عملية الرشح للمرحلتين، أما الرشح فقد تم تقديره في الحقل في ثلاث مكررات روعي بأن تكون ممثلة للحقل المدروس بشكل جيد، استخدمت الاسطوانة المزودة (Black, 1965) وهي عبارة عن أسطوانتين متحدتي المركز بارتفاع 25cm، قطر 28cm، 52 cm للداخلية والخارجية، على التوالي، شكل (1)، حيث تم تثبيت الأسطوانة بدقة لعمق 10 cm داخل قطاع التربة (العمق الموصي به في أغلب المراجع)، تم وضع قطعة من النايلون على سطح التربة في الاسطوانة الداخلية قبل إضافة الماء لتفادي تشوه سطح التربة نتيجة إضافة الماء بشكل مباشر، كما تم تعبئة الاسطوانة الخارجية بنفس الطريقة لتفادي التسرب الجانبي لماء الرشح، يتم سحب النايلون مباشرة، ثم تدون البيانات

المتعلقة بالتجربة ومراقبة هبوط الماء مع الزمن عن طريق مسطرة القياس. استخدم نموذج كوستياكوف (1932) (Kostiakov Model) لحساب معدل الرشح والرشح التراكمي، الذي يعتبر نموذجاً مبسطاً يربط بين معدّل الرشح والزمن من بداية التجربة ويعتبر هذا النموذج أحد أكثر النماذج استعمالاً خاصة في تصاميم نظم الري السطحي لسهولة تطبيقه، ويأخذ هذا النموذج الشكل التالي:

$$I = \alpha t^n$$

$$i = n\alpha t^{n-1}$$

I الرشح التراكمي، i معدل الرشح،  $\alpha$ ، n ثابت تجريبية يتم اشتقاقها من البيانات الحقلية وهي تعتمد على عدة عوامل أهمها قوام التربة والمحتوى الرطوبي والكثافة الظاهرية. (Kostiakov, 1932).



شكل (1) مقطع أفقي ورأسي لأسطوانة قياس الرشح.

### 3. النتائج والمناقشة:

#### 1.3 الخواص الطبيعية:

بينت نتائج تحليل الخواص الطبيعية للتربة أنها ذات قوام طمي رملي، وكان متوسط الكثافة الظاهرية  $1.4 \text{ gm/cm}^3$ .

#### 2.3 المحتوى الرطوبي الحجمي:

من جدول (1) يتضح الآتي: في التجربة الأولى (قبل هطول المطر) يزداد المحتوى الرطوبي مع العمق قبل وبعد قياس الرشح، حيث ازداد من 3.9% للعمق (0-10) إلى 8.4% (20-30) قبل قياس الرشح في حين ازداد من 24.8% للعمق (0-10) إلى 33.4% للعمق (20-30) بعد إجراء تجربة الرشح، نلاحظ أن نسبة المحتوى الرطوبي تختلف من عمق لآخر، كلما زاد العمق تزداد نسبة الرطوبة في التربة، يعود السبب إلى أن التربة في العمق الأول أكثر تعرض للهواء وضوء الشمس والحرارة وهذا يؤدي إلى فقد نسبة من الرطوبة مقارنة بالاعماق الأخرى، أيضاً كلما زاد عمق التربة تكون أكثر تماسكاً وتلاصقاً، وهذا يؤدي إلى زيادة نسبة الرطوبة عن التربة الأقل عمقاً، حيث توجد هنالك علاقة طردية بين عمق التربة والمحتوى الرطوبي. (بن محمود وآخرون، 1995). أما في التجربة الثانية (بعد هطول الأمطار) فنلاحظ أن المحتوى الرطوبي يتناقص مع عمق التربة قبل إجراء تجربة الرشح حيث انخفض من 10.5% للعمق (0-10) إلى 9% للعمق (20-30) في حين ازداد المحتوى الرطوبي للتربة بعد إجراء تجربة الرشح، حيث ارتفع من 28% للعمق (0-10) إلى 31% للعمق (20-30)، حيث ذكر (Kay and Anger, 1999) أنه عندما تتعرض بعض التربة إلى هطول الأمطار فإن حبيباتها تتحطم وتنحل (عملية الإرواء (slaking) بفعل الهواء المحبوس أو بفعل الطاقة الحركية لحبات المطر، حيث يحدث انتفاخ غير متجانس لمادة التربة عند امتصاصها للماء، ونتيجة لتبطلها الأمر الذي يؤدي إلى حدوث ضغوط وقوى غير منتظمة تخل ببناء التجمع وتحطمه، وغالباً ما يصاحبه انسداد المسام الكبيرة، مما يقلل من المحتوى الرطوبي ومعدل الرشح.

ويشير (LeBissonnis and Arrouays, 1997) إلى حدوث تحطم بناء التربة بفعل الانفجار الناجم عن انضغاط الهواء المحبوس عند الترطيب السريع لتجمعات التربة الجافة، أيضاً حدوث تدهور التدريجي في بناء التربة يتبعه تلاصق أو انسداد جزئي للقطاع نتيجة تكوين طبقة سطحية كثيفة ناشئة عن فصل وهجرة حبيبات التربة والتي تتجمع في المسام

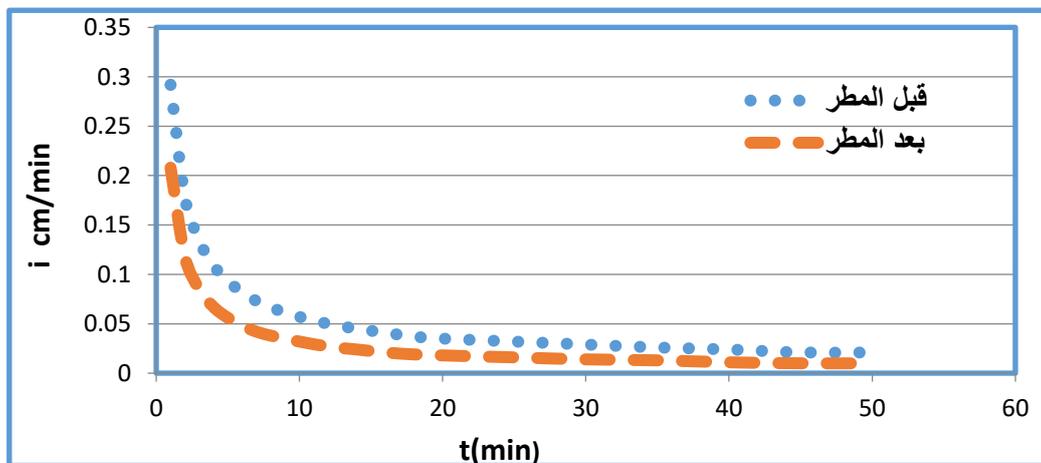
فتقلل من أحجامها، كذلك انتفاخ معادن الطين، واحتباس فقاعات الهواء داخل المسام بواسطة الماء الذي من المفترض أن يحل محله وينشأ ضغط هواء التربة الظاهري كلها أسباب تؤدي إلى انخفاض المحتوى الرطوبي بعد هطول الأمطار.

### جدول (1) نتائج تحليل المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة.

العمق d (cm)	تجربة قبل المطر		تجربة بعد المطر	
	قبل التجربة $\theta_v$	بعد التجربة $\theta_v$	قبل التجربة $\theta_v$	بعد التجربة $\theta_v$
0 - 10	0.039	0.248	0.105	0.28
10 - 20	0.068	0.332	0.1	0.307
20 - 30	0.084	0.334	0.09	0.31

### 3.3 معدل الرش والرشح التراكمي:

بعد حساب قيم ثوابت معادلة كوستياكوف من البيانات الحقلية للتجربة جدول (2)، تم حساب معدل الرشح والرشح التراكمي وفق نموذج كوستياكوف، حيث يبين الشكل (2) تناقص معدل الرشح مع الزمن في المرحلتين، حيث بلغ متوسط معدل الرشح قبل هطول الأمطار 4.32 cm/hr في حين انخفض إلى 2.56 cm/hr بعد هطول الأمطار وهذا يوضح تأثير المحتوى الرطوبي المبدئي للتربة في عملية الرشح. وأن السبب الرئيسي في انخفاض معدل دخول الماء في التربة هو تناقص الانحدار الهيدروليكي عند سطح التربة، بالإضافة إلى عوامل أخرى، مثل انغلاق سطح التربة، أيضاً عندما تكون التربة رطبة تتعجن المواد الغروية مما يعمل على خفض سرعة الرشح، كذلك عندما تكون التربة الجافة تحتوي على حبيبات دقيقة تحملها المياه أثناء اختراقها للتربة حيث تتجمع في مسام التربة، مما يؤدي إلى انخفاض معدل الرشح، أيضاً عند هطول الأمطار بمعدلات منتظمة فوق مساحات كبيرة من التربة فإن المياه المترشحة تعمل على احتباس الهواء المتواجد في مسام التربة مؤقتاً، ويتضاغط إلى أسفل تحت تأثير تقدم جهة الإبتلال وحركة المياه خصوصاً في المناطق مستوية السطح مما يعمل على انخفاض معدل الرشح في التربة، أي أنه إذا استمرت عملية الرشح لفترة طويلة من الزمن فإن قيمة معدل الرشح يصل إلى حالة الثبات، ويساوي معامل التوصيل الهيدروليكي المشبع للتربة (بن محمود وآخرون، 1995). كذلك يشير (Skaggs, Khallel, 1982) إلى أن بناء التربة والتوزيع الحجمي للمسام يلعبان دوراً كبيراً في تحديد قيمة معدل الرشح في المراحل الأولى من عملية الرشح. وأثبت (Mein, Larson, 1973) أن المحتوى الرطوبي المبدئي للتربة من العوامل المحددة لمعدل الرشح، ويمكن تفسير نقص معدل الرشح إلى تولد جهد مائي شعري عالي في أي طبقة تحت الطبقة التي يتم ترطيبها ويستمر تحرك الماء إلى أسفل، ويقبل الميل الهيدروليكي مما يؤدي إلى نقص معدل الرشح في المرحلة الأولى، وعندما تستمر حركة الماء لأسفل خلال الفراغات والمسام الكبيرة يزداد المحتوى الرطوبي للتربة عن سعتها الحقلية، ويتلاشى تأثير الضغوط الشعرية فإن معدل الرشح يصل إلى قيمة ثابتة. (عامر، 2003). كما أشار (Wilson, Luthin, ; Peck, 1965 ; Free, Polmar, 1940) إلى أن دخول الماء إلى قطاع التربة سيدفع بالهواء الموجود في المسامات البيئية إما للتقدم أمام جهة الإبتلال، أو يلجأ إلى الانحسار في المسام، أو يخرج بشكل فقاعات إلى الهواء الجوي عند توفر الظروف، وتعد حركة الهواء وازدياد ضغطه أمام جهة الإبتلال ذات تأثير كبير على عملية الرشح.

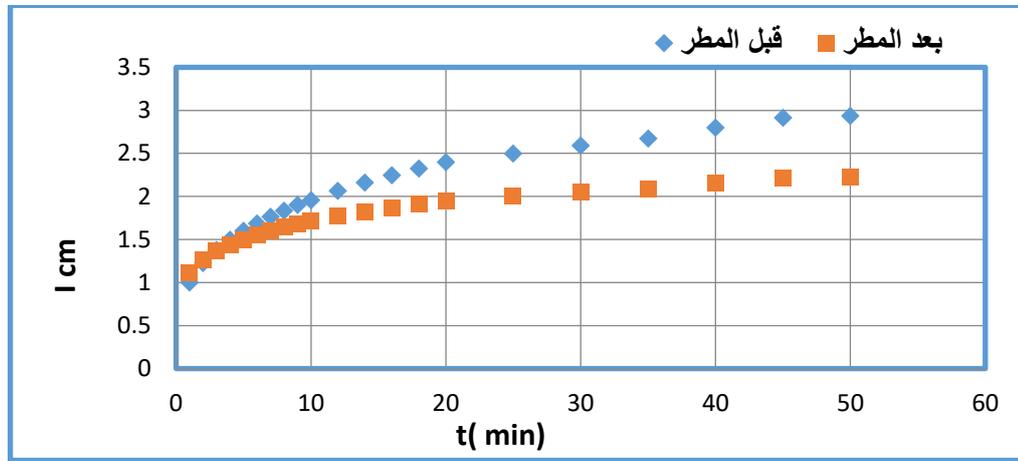


شكل (2) معدل الرشح مع الزمن.

ومن خلال النتائج المتحصل عليها لقيم معدل الرش يعتبر معتدل حسب دليل مسوحات التربة الأمريكي المعتمد في تصنيف الترب الليبية (حويج، العالم، 2012)، وعند مقارنته بالنتائج المذكورة في الدراسات السابقة نجد أنه يندرج تحت المدايات الشائعة في الترب الليبية. إحصائياً تم إجراء اختبار الانحدار البسيط (معامل الارتباط بيرسون) لمعرفة تأثير الزمن على معدل الرش و اشارت النتائج إلى أن هناك علاقة عكسية (سالبة) بين معدل الرش و الزمن. أما الرش التراكمي فمن الشكل (3) يتضح أنه يزداد مع الزمن في المرحلتين حيث بلغ متوسط عمقه 20.7 mm قبل هطول الأمطار ثم انخفض إلى 17.6mm في المرحلة الثانية، بسبب المحتوى الرطوبي المبدئي للتربة، وعند إجراء اختبار معامل الارتباط بيرسون Pearson Correlation يتضح أن هناك علاقة طردية (موجبة) قوية بين الرش التراكمي مع الزمن، وبالمثل هناك علاقة طردية قوية مع عمق التربة.

جدول (2) يوضح قيم ثوابت معادلة كوستياكوف.

حالة التجربة	$\alpha$	n
قبل المطر	1	0.292
بعد المطر	1.11	0.188



شكل (3) الرش التراكمي مع الزمن.

#### خاتمة:

ختاماً، أظهرت نتائج الدراسة ازدياد المحتوى الرطوبي مع زيادة عمق التربة بعلاقة طردية قوية، مما أدى إلى تناقص معدل الرش مع الزمن في المرحلتين، أما الرش التراكمي فقد ازداد مع الزمن بعلاقة طردية قوية في المرحلتين، عليه وبناء على ما تحقق من نتائج، نستنتج أنه كلما زاد المحتوى الرطوبي المبدئي للتربة كلما قلت عملية الرش، بالتالي يؤخذ ذلك في الاعتبار عند تصميم شبكات الري.

#### المراجع:

- [1] الحويج، عز الدين، العالم، مختار، 2012 دليل الوصف المورفولوجي وتصنيف قطاع التربة في الحقل. دار الكتب الوطنية. الطبعة الأولى ص 15 - 16
- [2] بن محمود، خالد، سليمان ، خليل، أبو زخار أحمد، يحي الطاهر، 1995 أساسيات علم التربة وعلاقته بنمو النبات الجامعة المفتوحة، ليبيا.
- [3] شاكي، علي، 2022، تقدير معدل الرش السطحي ببعض المواقع بمنطقة وادي الحياة جنوب غرب ليبيا، المجلة الليبية لعلوم وتكنولوجيا البيئة، مجلد (4) ، العدد (1).
- [4] عامر ، عبد المنعم محمد 2003، هيدروفيزياء الأراضي و الري و الصرف المزرعي، الجزء الاول ، الدار العربية للنشر والتوزيع.
- [5] عبد العاطي، أسامة، محمد، مؤمن، 2016 ، تقييم أداء بعض معادلات تقدير الرش لبعض ترب الجبل الأخضر، مجلة المختار للعلوم، مجلد ( 31) العدد (2) جامعة عمر المختار، البيضاء، ليبيا.
- [6] عواد، محسن محارب، 2003 الأسس الهندسية لماء التربة المبادئ النظرية وتطبيقاتها، دار شموع الثقافة للطباعة والنشر والتوزيع، ليبيا.

- [7] Black, C. A. (1965). Methods of soil analysis. American Society of Agronomy, Wisconsin, USA.
- [8] Ekhmaj, A. I. (2010). Predicting soil infiltration rate using Artificial Neural Network. International Conference on Environmental Engineering and Applications (ICEEA), Singapore, 117-121.
- [9] Fahad, A. A., L. N. Mielke, A. D. Flowerday and D. Swartzendruber. (1982). Soil physical properties as affected by soybeans and other cropping sequences. Soil Science Society of America Journal, 46: 377-381.
- [10] Free, G.R., and Polmer V.J. 1940 Interrelationship of infiltration, air movement, and pore size in graded silica sand. Soil sci. soc. Am. Proc 5:390-398.
- [11] Green, W. H., and G. A. Ampt. (1911). Studies on soil physics: I. Flow of air and water through soils. Journal of Agricultural Sciences, 4: 1-24.
- [12] Hickok, R. B. and H. B. Osborn. (1969). Some limitations on estimates of infiltration as a basis for predicting watershed runoff. Transactions of the ASAE. 12: 798-800.
- [13] Horton, R. E. (1940). An approach towards a physical interpretation of infiltration capacity. Soil Science Society of America Journal, 5: 399-417.
- [14] Kay, B.D, and Anger 1999, soil structure p229-276.
- [15] Kostiakov, A. N. (1932). On the dynamics of the coefficient of water percolation in soils and on the necessity of studying it from a dynamic point of view for purposes of amelioration. Transactions of the Sixth Commission of International Society of Soil Science, Moscow, Part A: 17-21.
- [16] LeBisssonais Y, and D.arrouays 1997, Aggregate Stability and Assessment of soil crust ability and Erodibility Application to humic loamy soils with various organic carbon content .Eur.j.Soil Sci.48:39-48
- [17] Mein, R.G., and Larson G. L. 1973 Modeling infiltration during a steady rain. Water Resour. Res. 9(2):384-394.
- [18] Mishra, S. K., S. R. Kumar and V. P. Singh. (1999). Calibration of a general infiltration model. Journal of Hydrologic Process, 13: 1691-1718.
- [19] Musa, J. J. and P. A. Adeoye. (2010). Adaptability of infiltration equations to the soils of the Permanent Site Farm of the Federal University of Technology, Minna, in the Guinea Savannah Zone of Nigeria. Australian Journal of Technology, 14: 147-155.
- [20] Nestor, L. S. (2006). Modelling the infiltration process with a multilayer perceptron artificial neural network. Hydrological Sciences Journal, 51: 3-20.
- [21] Peck, A. J. 1965. Moisture profile development and air compression during water uptake by bounded porous: vertical columns. Soil Sci. 100(1):44-51.
- [22] Philip, J. R. (1957d). The theory of infiltration. 4-Sorptivity and algebraic infiltration equations. Soil Science, 84: 257-264.
- [23] Shukla, M. K., R. Lal and P. Unkefer. (2003). Experimental evaluation of infiltration models for different land use and soil management systems. Soil Science, 168: 178-191.
- [24] Skaggs, R. W. and Khaleel R. 1982. Infiltration (chap. 4 in Hydrologic modeling of small watershed. Ed. By Haan et.al an ASAE monograph No.5)
- [25] Swartzendruber, D. (1987). A quasi-solution of Richards equation for the downward infiltration of water into soil. Water Resources Research, 23: 809-817.
- [26] Wilson, L. G. and luthin J. N. 1963. Effect of air flow a head of the wetting front on infiltration. Soil sci. 92(2): 136-143.