



تقييم وتقدير حجم قطرات المطر باستخدام جهاز المحاكاة المطرية ودوره في تحسين النماذج الهيدرولوجية

ليلي سالم موسى

المعهد العالي للتقنية الزراعية بالغiran

Abdoloky loky@gmail.com

تاريخ الاستلام: 2025/10/10 تاريخ المراجعة: 2025/10/13 - تاريخ القبول: 2025/10/17 - تاريخ النشر: 2025/10/21

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم دقة تقدير حجم قطرات المطر باستخدام جهاز المحاكاة المطرية كطريقة ناجعة في الأبحاث الهيدرولوجية والأرصاد الجوية ، فهناك حاجة لتقدير أداء وفعالية هذه الأجهزة في الظروف المحلية لمناطق الجافة وشبه الجافة. تعتمد المنهجية على تصميم أجهزة لإجراء تجارب تجارية لمعدلات هطول مطري مختلفة مع معايرة دقيقة للجهاز لضمان محاكاة واقعية لقطرات المطر الطبيعية من حيث الحجم ، والتوزيع حيث تؤكد نتائج الأبحاث أن الأجهزة المعايرة بشكل صحيح قادرة على إنتاج قطرات بأحجام تترواح بين (0.3 – 2.7) مم مما يتوافق مع نتائج المعايرة لحجم قطرات (0.4-2.7) مم بالدراسة وهذا يؤكد على نجاح المحاكاة لأنها تدخل ضمن المدى المحدد لقطرات المطر الطبيعية، وأن المتوسط الحسابي لمعامل الانتظامية (cu) للرشاشات عند ارتفاع 3م يحقق تحسناً واضحاً وبنسبة عالية تقدر ب 22.12% عن معامل الانتظامية عند ارتفاع 1.5م كما تبين من حساب مقاييس النزعة المركزية والتشتت بأن التوزيع يميل للانحراف السالب اتجاه القيم الكبيرة حيث أن قيمة المتوسط (2.5) > الوسيط (1.67) > الانحراف المعياري (0.68) تتراوح أحجامها حول المتوسط بدرجة مقبولة من التشتت مما يدل على التفاوت الطبيعي في القيم وغير مركزة حول قيمة واحدة وأن قيمة معامل الانحدار (R^2) تساوي (0.97-0.98) مما يؤكد وجود احصائية عالية للعلاقة الخطية مما يفسر التغير في معدل التدفق مع التغير في ضغط التشغيل كما تسلط الدراسة الضوء على أهمية مساهمة هذه البيانات الدقيقة في تحسين النماذج الهيدرولوجية وتوقعات الطقس وتقدم توصيات للأبحاث المستقبلية لتعزيز دقة القياسات ودمج التقنيات الحديثة.

الكلمات المفتاحية : محاكاة المطر ، حجم قطرات المطر، النماذج الهيدرولوجية ، الانحراف المائي ، إدارة الموارد المائية ، المعايرة.

Abstract:

This study aims to evaluate the accuracy of estimating raindrop size using a rainfall simulator as an effective method in hydrological and meteorological research. There is a need to assess the performance and efficiency of these devices under the local conditions of arid and semi-arid regions. The methodology involves designing devices to conduct simulation experiments for different rainfall rates, with precise calibration of the device to ensure realistic simulation of natural raindrops in terms of size and distribution. Research results confirm that properly calibrated devices are capable of producing droplets with sizes ranging from (0.3 – 2.7) mm, which aligns with the calibration results for droplet size (0.4-2.7) mm in the study. This confirms the success of the simulation, as it falls within the specified range for natural raindrops. Furthermore, the arithmetic mean of the Christiansen Uniformity Coefficient (CU) for the nozzles at a height of 3m shows a clear improvement, with a high percentage of 22.12%, compared to the uniformity coefficient at a height of 1.5m. Calculations of central tendency and dispersion measures indicate that the distribution tends to skew negatively towards larger values, as the mode (2.5) is greater than the mean (1.67), which is less than the median (1.7). Meanwhile, the standard deviation (0.68)

shows that the sizes vary acceptably around the mean, indicating natural variation in the values and that they are not concentrated around a single value. The value of the coefficient of determination (R^2) equals (0.98–0.97), confirming a high linearity of the relationship, which explains the change in flow rate with the change in operating pressure. The study also highlights the importance of these accurate data in improving hydrological models and weather forecasts and provides recommendations for future research to enhance measurement accuracy and integrate modern technologies.

Keywords: Rainfall simulation, raindrop size, hydrological modeling, water erosion, water resource management, calibration.

1. المقدمة:

تشكل ندرة المياه وتدور التربة مشكلة كبيرة يجب مواجهتها بالعمل على تحسين إدارة الموارد المائية والحد من الانجراف والفيضانات. وتمثل مشكلة إدارة وحفظ التربة والمياه تحدياً كبيراً في العالم كافة خاصة بالمناطق الجافة وشبه الجافة نتيجة للتغيرات المناخية وضغطوط الزيادة السكانية المطردة من هنا تبرز أهمية فهم خصائص الهطول المطري بدقة ودوره في الدورة الهيدرولوجية حيث يُعد ركيزة هامة لمواجهة هذه التحديات تتيح للباحثين محاكاة ظروف هطول مطري متغيرة خاصة للتحكم ضمن نطاق محدد مما يتغلب على قيود الملاحظة الميدانية المباشرة وصعوبة التنبؤ بالظروف الجوية ويعتبر تقدير حجم قطرات المطر عنصراً أساسياً في هذا الإطار ، حيث يؤثر بشكل مباشر على عملية الانجراف ، الرشح ، وانتقال الملوثات Kinnell (2005) وتهدف هذه الدراسة إلى تقدير حجم قطرات المطر باستخدام جهاز محاكاة مطري مصمم محلياً وتسليط الضوء على أهمية هذه التقديرات الدقيقة في تحسين النماذج الهيدرولوجية والتنبؤات الجوية مستندة في ذلك إلى مراجعة المعلومات المتوفرة من الدراسات والأبحاث السابقة في هذا المجال .

أظهرت الدراسات السابقة تطوراً ملحوظاً في تقنيات محاكاة المطر حيث أشارت دراسة التي قام بها كلًّا من Laws & Parsons (1943) إلى أن فوهات الرش من نوع (VEE 80100 JET 41 كيلو باسكال) تعتبر من أكثر الأنواع كفاءة في محاكاة الحجم التوزيع الطبيعي ل قطرات المطر عند ضغط تشغيل محدد حوالي (41 كيلو باسكال) حيث أن قطر قطرات المطر الطبيعية يتراوح عادة بين (5 - 0.5) ملم ويحدد هذا حجم وسرعة سقوط قطرات وكذلك تحديد الطاقة الحركية ل قطرات ، و تعد هذه الطاقة هي العامل الرئيسي المسئول عن تفكك حبيبات التربة وبعد عملية الانجراف المائي ، عليه فإن فهم التوزيع الحجمي ل قطرات ضروري لنموذج تأثير المطر على التربة والبيئة بدقة ، واعتمد (Selby 1970) المحاكاة المطرية كأحد أهم طرق قياس الرشح السطح ب حيث يتم محاكاة عاصفة مطوية أو عملية رش باستخدام رشاش مياه يحاكي عملية سقوط المطر أو قطرات مياه الري لمساحة محددة من الأرض كما حاول Bubenzer (1979) الحصول على حجم قطرات الماء المضاف مقاربة للحجم الطبيعي لقطرة المطر من خلال تغيير قيم ضغط الضغط ونوعية الرشاشات كما حدد الباحث Queline (2003) معايير أساسية لمحاكاة واقعية للمطر الطبيعي أشارت العديد من الدراسات إلى تطور استخدام أجهزة محاكاة المطر في قياس معدلات الرشح السطحي كبديل دقيق للطرق التقليدية مثل (الأسطوانات المزدوجة) والتي كانت تعاني من مشاكل مثل تغيير البنية التربوية وعدم محاكاة تأثير انضغاط قطرات وتشير العديد من الدراسات التي قام بها الباحثون في مجال المحاكاة ومنهم (Giannetti 2020) إلى أن دمج البيانات عالية الدقة من مصادر مثل أجهزة المحاكاة مع بيانات الأقمار الصناعية والرادار يمكن أن يحسن دقة التنبؤات بشكل كبير .

3. المواد وطرق البحث

3.1. طريقة المحاكاة المطرية:

تم تصميم جهاز المحاكاة المطرية بناءً على الدراسات السابقة مع الأخذ في الاعتبار عند التصميم تحقيق أعلى معايير الدقة والكفاءة وفقاً للظروف المحلية بحيث يمكن الحصول على معدلات الإضافة المطلوبة بانتظامية جيدة على كامل سطح التربة المحددة للدراسة يعطي جهاز المحاكاة المطرية شكل 1. المصمم مساحة دائرية بقطر 2.5 م وأيضاً تم اختيار وشراء 5 رشاشات من نوع (Flood Jet Wide Angle 80100) شكل 3. من الشركة المصنعة بهولندا وهذه الرشاشات تطلب معاييرها من أجل التأكيد من تجانس مواصفاتها، بحيث يتم اختيار ثلاث رشاشات منها لتركيب على حلقة حديدية ذات قطر 1.5 م شكل 2. وثبتت على حامل متغير الارتفاع يتكون من أربعة أعمدة حديدية

طول كلاً منها ثلاثة أمتار ويمكن تعديلاها ليصل إلى 4م تم وصل الرشاشات بمصدر المياه بواسطة خرطوم بلاستيكي بطول 25م. كما تم التحكم بكمية المياه المتدفقة عن طريق صمامات مركب بها جهاز قياس ضغط مدرج من صفر إلى 4 بار قبل الرشاشات على سطح التربة غرست حلقة معدنية قطر 1م وارتفاع 15سم بالأرض عند مركز المساحة المدروسة صورة (2). تم وضع ساتر بلاستيكي حول الجهاز ابتداءً من سطح التربة وحتى حلقة الرشاشات. بالإضافة إلى هذا تم استخدام العديد من الأدوات المساعدة في تركيب الجهاز وهي كما يلي: أسلال حديدية للربط والثبيت - حلقات حديدية لإحكام توصيل القطع بعضها البعض - مفك ومفاتيح للربط والتركيب - ساعة إيقاف - أنابيب إختبار مدرجة لقياس.



شكل 1. رشاش (Flood Jet Wide Angle 80100)



شكل 3. حلقة المعدنية لتحديد مساحة الدراسة

شكل 2. جهاز المحاكاة المطرية

3.2 تحديد الارتفاع المناسب الذي يعطي أفضل انتظامية توزيع لل قطرات لتحديد الارتفاع المناسب تم إجراء تجارب المحاكاة على مستوى ارتفاع هما (1.5-3) م، فتم توزيع 18 علبة فارغة بأبعاد ثابتة تحت منظومة الرشاشات شكل 4. وعند زمن (3.5) دقيقة تحت ضغط ثابت مقداره 1بار، بحيث يتم قياس حجم أو كمية المياه المتجمعة بكل علبة وتسجيلها وتكرر التجربة عدة مرات وعلى ارتفاعي (3-1.5) متر لكل رشاش على حدى و للرشاشات مجتمعة وذلك لمعرفة تأثير اختلف الارتفاع على انتظامية التوزيع وأداء الرشاشات وتم حساب معامل الانتظامية لكل رشاش وفقاً للمعادلة التالية:

$$(1) \quad C_u = \left[1 - \frac{\sum_i^n |x_i - \bar{x}|}{n \cdot \bar{x}} \right] \times 100$$

حيث أن x_i عمق الماء المتجمع في كل وعاء (م)، n عدد علب التجميع. ومن خلال قيم معامل الإنظامية تمت مقارنة مدى إنظام توزيع الماء من الرشاشات عند الإرتفاعين من خلال حساب قيم التباين لمعامل الإنظامية عند كل ارتفاع حسب المعادلة التالية:

$$(2) \quad S^2 = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}$$

حيث أن التباين، و σ كمية المياه المتجمعة في كل عملية و n العدد الكلي للعب المستخدمة في التجربة، و \bar{x} المتوسط الحسابي للمياه المتجمعة في العلب، بحيث يكون الإرتفاع المناسب هو ذلك الإرتفاع الذي يحقق أقل قيمة للتباین. ولضمان وجود تأثير لإرتفاع الرشاشات على سطح التربة تم إجراء اختبار F لتحديد مدى تجانس التباين كما يلي التالية:

الفرض البديل : فرض العدم :



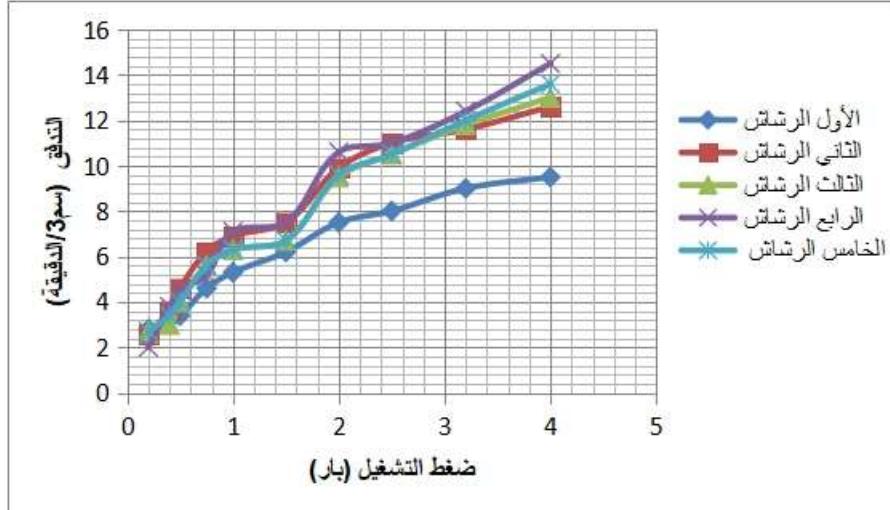
شكل 4. توزيع العلب لقياس انتظامية توزيع المياه
3.3. معايرة حجم قطرات من الرشاشات (كريات الدقيق) (Flour Pellet Method)
لضمان دقة المحاكاة تمت معايرة الجهاز بتطبيق تجربة (كريات الدقيق) وفق البروتوكول الذي وضعه (1974) Kohl للتأكد من أن خصائص القطرات الناتجة تقع ضمن المدى الطبيعي لقطرات المطر.



شكل 5. قياس قطرات كريات الدقيق بالقدم ذات الورنية
تم تحليل البيانات المتحصل عليها من التجارب السابقة الذكر إحصائيا (المتوسط، الوسيط، المنوال والانحراف المعياري).
4. النتائج
4.1 المفضلة بين الرشاشات و اختيار الأنسب منها .

جدول 1 . قيم تحليل الإنحدار ومعامل التحديد (R^2) للعلاقة بين التغير في الضغط و التصرف لكل رشاش

رقم الرشاش	(a)	(b)	(R^2)
1	15.2	0.45	80.9
2	56.4	40.5	0.98
3	6.01	0.57	0.97
4	6.32	0.63	0.98
5	6.16	0.56	80.9



شكل 6. تأثير اختلاف الضغط على معدلات الصرف من الرشاشات المختلفة

4.2. تحديد ارتفاع 3م لإجراء التجارب بناء على أفضل معدل انتظام لنتوزيع المياه من الرشاشات .

جدول 2 . معامل الانتظامية للشاشات عند ارتفاعي 1.5 و 3 متر

رقم الرشاش	الأول	الثاني	الثالث	الرابع	الخامس
معامل الانتظامية% (Cu) عند ارتفاع 1.5 متر	67.58	79.86	75.02	63.41	71.62
معامل الانتظامية% (Cu) عند ارتفاع 3 متر	89.17	94.41	93.93	95.40	95.17

4.3 معايرة حجم قطرات المطر من الرشاشات باستخدام طريقة كريات الدقيق.

الجدول 3. عدد وحجم ونسبة المئوية ل قطرات المطر باستخدام طريقة كريات الدقيق.

القطر (مم)	0.4	0.6	0.8	1.2	1.6	1.8	2.0	2.3	2.5	2.7
العدد	7	20	34	42	50	50	55	40	56	30
النسبة المئوية	1.9	5.4	9.2	11.4	14.9	10.8	13.6	13.6	14.9	10.8

4.4. مناقشة النتائج

بناءً على نتائج التجربة المبنية شكل 6. تم اختيار الرشاشات الثاني، الثالث والرابع لإجراء التجارب للمحاكاة المطرية حيث كان معدل التدفق للمياه لهذه الرشاشات الثلاث متقارب ومتجانس أكثر من الرشاش الأول والخامس وذلك تحت ضغط تشغيل ثابت، كما أشارت نتائج معايرة حجم القطرات الجدول (3) إلى أن هناك توافقاً ملحوظاً مع المدى الطبيعي لل قطرات (2.7-0.4) ملم. وقد لوحظ أن التوزيع يميل نحو الأحجام الكبيرة وهو ما يتوافق مع نتائج Giannetti (2020) في المناطق المشابهة. هذا التوزيع يفسر الطاقة الحركية العالية للأمطار المحاكاة وتأثيرها في عمليات انجراف التربة.

4.4. التحليل الإحصائي لنتائج الدراسة:

▪ أولاً: المتوسط الحسابي لمعامل الانظامية (Cu) :

$$(أ) عند ارتفاع 1.5 م = 5 / (71.62+63.41+75.02+79.86+67.5) \%$$

$$(ب) عند ارتفاع 3 م = 5 / (95.17+95.40+93.93+94.41+89.17) \%$$

نستنتج أنه هناك تحسن واضح وبنسبة عالية لانظامية توزيع الرشاشات للمياه عند ارتفاع 3متر وبنسبة تقدر بـ 22.12%

▪ ثانياً: التوزيع التكراري لحببات الدقيق الممثلة ل قطرات الماء من الرشاشات النتائج التالية:

يوضح الجدول 3. توزيع حقيقي لأحجام 384 قطرة مطر تم حساب مقاييس النزعة المركزية والتشتت للبيانات الموجودة بالجدول (3)

فكان كالتالي:

$$(أ) المتوسط الحسابي = 1.64 مم$$

$$(ب) الوسيط الحسابي = 1.7 مم$$

$$(ج) المنوال = 2.5 مم$$

نستنتج من هذه القيم الإحصائية بأن التوزيع يميل للانحراف السالب اتجاه القيم الكبيرة حيث أن:

المتوسط (1.67) بينما الانحراف المعياري (0.68) تتراوح أحجامها حول المتوسط \rightarrow الوسيط (1.7). 2. قيمة المنوال بدرجة مقبولة من التشتت مما يدل على التفاوت الطبيعي في القيم غير مركزة حول قيمة واحدة.

ثالثاً: اختيار الرشاشات

تحليل الانحدار: (Regression Analysis)

أظهرت جميع العلاقات بين الضغط والتصريف بأن معامل التحديد (R^2) مرتفع جداً يتراوح بين (0.97-0.98)

أ) التفسير الإحصائي: قيمة (R^2) معامل الانحدار قريبة من (1) مما يؤكد وجود دلالة احصائية عالية للعلاقة الخطية وهذا يفسر التغير في معدل التدفق يفسر بالتغيير في ضغط التشغيل مما يؤكد على أن سلوك الرشاشات ثابت وإن اختيار الرشاشات (2,3,4) كان الأنسب والأفضل.

رابعاً : تحديد الارتفاع الأمثل للحصول على أعلى انظامية

اختبار الفرضيات (F): يستخدم الباحثون الاختبار (F) لمقارنة تباين الأداء عند الارتفاعين

- فرضية العدم : لا يوجد فرق ذو دلالة احصائية في التباين بين الارتفاعين.
 - فرضية البديل : يوجد فرق ذو دلالة احصائية بين الارتفاعين .

نستنتج أنه بناءً على النتائج تم رفض فرضية العدم حيث تم تفضيل ارتفاع 3م وحيث تكون قيم الانormalية الأعلى بشكل واضح وهذا يعني بأن الفرق في الانormalية بين الارتفاعين ذو دلالة إحصائية وليس اختلاف عشوائي.

5. الخلاصة والتوصيات

5.1 الخلاصة

تكمّن أهمية استخدام جهاز محاكاة المطر في تقدير حجم قطرات المطر ودراسة آثارهـا على التربة والبيئة. من خلال المعایرة الدقيقة و يمكن لهذه الأجهزة أن توفر بيانات تساهم بشكل مباشر في تحسين النماذج الهيدرولوجية وتطوير استراتيجيات أفضل لإدارة التربة والمياه ، خاصة في المناطق ذات الموارد المائية الشجّحة.

الآن، نحن نعلم أن هناك ملائكة في السماء، وأنهم يخدمون الله تعالى.

تؤكد هذه الدراسة على أهمية أجهزة المحاكاة المطرية وأهمية المعايرة الجيدة في توفير بيانات حقيقة لخصائص قطرات المطر ومعدلات الهطول والرشف السطحي والجريان المتوقع ولهذا تؤكد الدراسة على ضرورة العمل على دمج التقنيات وذلك بدمج البيانات المستخلصة من أجهزة المحاكاة مع تقنيات الاستشعار عن بعد مثل (الأقمار الصناعية والرادار) لإنشاء نماذج مثالية مع الاستمرار في تطوير أجهزة المحاكاة محلياً لتقليل التكاليف وزيادة توفرها وإتاحتها للمراكز البحثية والعلمية والعمل على توحيد بروتوكولات المعايرة والاختبار لأجهزة المحاكاة لضمان إمكانية مقارنة النتائج بين الدراسات المختلفة مع الترکيز على دراسة تأثير الخصائص المختلفة ل قطرات المطر مثل (الشكل والتراكيب الكيميائي) على العمليات البيئية واستكشاف استخدام الذكاء الاصطناعي في تحليل بيانات المحاكاة.

References

- 1 . Abudi, I.G., , P. (2012). Rainfall simulator for field runoff studies. *Journal of Hydrology*, *454–455*, 76–81.

2. Iserloh, T., Ries, J. B., Arnáez, J (2013). European small portable rainfall simulators: A comparison of characteristics. *Journal of Hydrology*, *497*, 134–145.

3.Assouline, S., & Ben-Hur, M. (2006). Effects of rainfall intensity and slope gradient on the dynamics of interrill erosion during soil surface sealing. *Catena*, *66*(3), 211–220.

4. Bubenzer, G. D. (1979). Design and evaluation of a programmable rainfall simulator. *Transactions of the ASAE*, *22*(5), 1138–1140.

5. Giannetti, F., De Cicco, P. N., (2020). A low-cost rainfall simulator for preliminary assessment of soil erosion and runoff processes in a mountainous area. *Hydrological Processes*, *34*(13), 2971–2985.

6.Kohl, R. A. (1974). Drop size distribution and soil surface sealing. *Soil Science Society of America Journal*, *38*(1), 131–134.

7.Kinnell, P. I. A. (2005). Raindrop–impact–induced erosion processes and prediction: A review. *Hydrological Processes*, *19*(14), 2815–2844.

8. Lascelles, B., Favis–Mortlock, D. T., (2000). Spatial and temporal variation in two rainfall simulators: implications for spatially explicit rainfall simulation experiments. *Earth Surface Processes and Landforms*, *25*(7), 709–721.

9. Laws, J. O., & Parsons, D. A. (1943). The relation of raindrop-size to intensity. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, *24*(2), 452–460.
10. Marshall, J. S., & Palmer, W. M. K. (1948). The distribution of raindrops with size. *Journal of Meteorology*, *5*(4), 165–166.
- . Salles, C., Poesen, J., & Sempere-Torres, D. (2002). Kinetic energy of rain and its functional relationship with intensity. *Journal of Hydrology*, *257*(1–4), 256–270.
12. Selby, M. J. (1970). Slopes and slope processes. *New Zealand Geographer*, *26*(2), 162–184.