

تحديد خصائص المطر باستعمال جهاز محاكاته (Rainfall Simulator)

غازي المقداد⁽¹⁾ و محمد سعيد الشاطر⁽²⁾ و عصام بشور⁽³⁾

الملخص

جرت الدراسة في مزرعة كلية الزراعة (أبي جرش) بجامعة دمشق، بعد تصنيع وتركيب جهاز محاكاة المطر (Rainfall simulator) محلياً، وحسب نموذج (Morin, et al 1967). استخدم في الدراسة نموذجان من فوهات المطر (Nozzles) النموذج الأول (11/2H30) وذلك للحصول على شدات مطرية عالية والنموذج الثاني (1HH12) للحصول على شدات مطرية متوسطة ومنخفضة. استخدم هذا الجهاز من أجل نمذجة الأمطار حسب المناخ في سورية ودراسة خصائصها وتأثيرها في الترب السورية. بينت نتائج الدراسة إمكان الحصول على شدات مطرية ثابتة عند ضغوط للماء مختلفة (0.4، 0.8، 1.1 بار) وبفروق معنوية واضحة للشدّة المطرية عند تلك الضغوط. كما تبين أنه عند سرعات دوران عالية للقرص (144 - 198 دورة/دقيقة) تعطي فروقاً معنوية في الشدة المطرية للجهاز مقارنة بسرعات دوران منخفضة ومتوسطة (18، 36 دورة/د). كما حددت الخصائص المطرية (قطر القطرة والطاقة الحركية السرعة النهائية لقطرة المطر) بالاعتماد على نماذج مختلفة لفوهات التمثير والشدات المطرية في الدراسة.

الكلمات المفتاحية: جهاز محاكاة المطر، شدات مطرية، قطر القطرة، ضغط الماء.

(1) دكتوراه، (2) أستاذ، قسم علوم التربة كلية الزراعة، جامعة دمشق، ص.ب. 30621، سورية.

(3) أستاذ في دائرة موارد الأراضي والمياه، كلية العلوم الزراعية والغذائية، الجامعة الأمريكية في بيروت.

Detremination of rainfall characteristics by using rainfall simulator

Ghazi. Al-Mokdad⁽¹⁾ ; M.Said. Al-Shater⁽²⁾
and Isam. Bashour⁽³⁾

ABSTRACT

The study was carried out in the Abu-Jarash farm, Faculty of Agriculture, Damascus, University by using a rainfall simulator, Which was constructed and set up according to the standard technical specifications, mimiking the Morin et al. model, which had been invented in 1967. Two types of nozzles were used: 11/2H30 for high rain intensity, and 1HH12 for low to moderate rain intensities. The apparatus was used to simulate the rainfall pattern under Syrian climatic conditions, in order to study its characteristics and effects on Syrian soils. There was a possibility of getting constant intensities of rains at different water pressures (0.4, 0.8, 1.1 bars) with significant differences, High disk speed (144, 198 rpm) gave significant differences in rainfall intensities compared with low disk speed (18, 36 rpm). Rainfall properties (drop diameter, Kinetic energy, terminal drop velocity) were also determined based on different kinds of nozzles and rain intensity.

Key words: Rainfall simulator, Rainfall intensity, Drop diameter, Wter pressure

⁽¹⁾ P.h.D, ⁽²⁾ Professor, Dep. Soil Sci, Faculty of Agriculture.P.O. Box 30621, Damascus University

⁽³⁾ Professor, Dep. Soil Irrigation and Mechanization, Faculty of Agricultural and Food Science, American University of Beirut.

المقدمة

من أكبر المشكلات في بحث انجراف التربة المائي هو ضرورة الاعتماد على المطر الطبيعي لمراقبة آلية الانجراف، ومن الصعب عملياً معرفة أين ومتى يحدث المطر، فالتنبؤ الجوي يعطي احتمالات عن مكان حدوث المطر وزمانه أكثر مما هي تأكيدات. رغم وفرة التقانات ومع وجود أحدث الأقمار الصناعية والطيف الراداري لدراسة خصائص المطر Kostinsk و Jameson (2002) إلا أنه لا يعطي التنبؤ الأكيد عن المطر. حتى ولو حصل بدقة على مكان الهطول المطري وزمانه إلا أن هذه المعلومات لاتدل على مدى كفاية الشدة المطرية ومدتها لتوليد الجريان السطحي. وجد بعض الدارسين أن الانجراف الموسمي الرئيسي للتربة يتوافق نسبياً مع عواصف مطرية قليلة. وجد Hudson 1981 أن 50% من الانجراف الموسمي يأتي من عاصفتين مطريتين في سنة واحدة. و75% من الانجراف يحصل خلال 10 دقائق. وأيضاً حصل Morgan، (1986) على نتائج مشابهة لعلاقة انجراف التربة في المناطق المدارية.

لا يوجد في المطر الطبيعي حادثان مطريتان متماثلتان بخصائصهما (الشدة المطرية - حجم القطرة - الطاقة الحركية للمطر)، مما يجعل مقارنة فقد التربة تحت معاملات مختلفة على سبيل المثال صعباً جداً في شروط تجريبية غير متماثلة (قبل العاصفة المطرية وبعدها وفي أثنائها).

يواجه إرساء تجارب الانجراف الحقلية ضمن ظروف المطر الطبيعي بعض المشاكل مثل: زمن التنفيذ وجمع المعلومات حيث يصعب التنفيذ ويصبح مضيقاً للوقت في حال عدم حصول انجراف. لذلك برزت الحاجة لمحاكاة المطر بشكل يمكن التنبؤ بالمطر والتحكم فيه وبشكل موثوق به، مما يسمح بسهولة تكرار حوادث مطرية عائدة لآلاف السنين خلال فترة زمنية قصيرة. فمثلاً تكرار حوادث مطرية تعود إلى 100 عام في أي مكان يمكن تكرارها عدة مرات في يوم واحد بهذه التقانة. كما أنه ضمن ظروف المطر الطبيعي يصعب على الإنسان نمذجة تأثير المطر في انجراف التربة والتحكم بها حسب حالة التربة الميل والغطاء النباتي وتطبيقات عملية أخرى، في حين في محاكاة المطر يمكن تثبيت أي عامل وملاحظة التغيرات الناجمة عن العوامل الأخرى.

وبطريقة محاكاة المطر نستطيع مخبرياً التحكم بتصميم التجربة وتقليل الخطأ التجريبي بتقليل تأثيرات الرياح والحرارة والرطوبة كما هو في الحقل (Bubbenzer و Meyer، 1965). كما يعد اختبار استقرار التجمعات الترابية بالنخل الرطب لايمثل العملية واقعياً لأن تقنية هذا الإجراء تقيس التبخر أو التفريق بالماء دون المشاركة لتأثير قطرة المطر، بواسطة جهاز محاكاة المطر يمكن تمثيل هذا التأثير ومن ثم يعطي دقة

أكثر لقياس مدى استقرار التجمعات الترايية والذي يعدُّ من أهم العوامل لبيان الفوارق في تحديد تدهور التربة.

إن الهدف الرئيسي لجهاز محاكاة المطر هو تقليد المطر الطبيعي بشكل صحيح ودقيق. تعدُّ حادثة المطر عملية معقدة حيث تتداخل الخصائص معا (حجم القطرة - سرعة القطرة والتغيرات المناخية) حسب طبوغرافية المكان والتأثيرات البحرية. إن محاكاة المطر بشكل مناسب يتطلب أن يكون:

1 توزع حجم القطرة قريباً من حجم قطرات المطر الطبيعي (Bubner 1979).
2 أن تكون سرعة القطرة قريبة من السرعة النهائية للمطر الطبيعي (Laws 1941) و (Gunn and Kinzer 1949).

3 أن تكون الشدة المطرية متجانسة وتوزع حجوم القطرات بشكل عشوائي (Laws و Parsons 1943).

4 أن يكون هناك تجانس في توزع هطل المطر فوق كامل المساحة المختبرة. يعتمد توزع حجم القطرة على عدة خصائص للعاصفة المطرية، منها الشدة المطرية. يختلف توزع حجم القطرة من 1 مم حتى 7 مم، حيث تبلغ 2.25 مم متوسط حجم القطرة للشدات المطرية العالية (Laws و Parsons 1943).

يعدُّ جهاز محاكاة المطر منذ عام 1930 وحتى الآن أداة مهمة لبيان أسس عملية الانجراف المائي في تجارب الترب الزراعية من خلال المطر والجريان وأثرهما في إدارة المراعي وخصائص التربة (Morgan 1995). كما تعدُّ محاكاة المطر طريقة اقتصادية وسهلة نسبياً للحصول على معلومات كثيرة ضمن شروط يمكن التحكم بها، فالتحكم بسرعة التطبيقات تسمح بإجراء مقارنة لاستجابة حالة الرشح المستقرة لخيارات النظم المتبعة في الري وفي فروق الغطاء النباتي وخصائص التربة وسهولة النمذجة للمدخلات المتغيرة. فأول جهاز محاكاة استعمل شدة مطرية ثابتة 100 مم/سا كان لـ Kincaid et al 1964 ثم تبعه العديد من البحوث باختيار شدات مطرية مختلفة مع مساحات متغيرة مثل Simanton et al 1991.

صممت عدة أنواع من أجهزة محاكاة المطر من بعض الباحثين Robert Papendick (1996) و Sumner (1996)، بعضها محمول ينفذ على قطع تجريبية لا تتجاوز متراً مربعاً واحداً وهناك أنواع حجوماً كبيرة ذات فوهات مطرية (nozzles) مضغوطة (Oades و Grieson، 1977). استعمل بعض الباحثين جهاز محاكاة المطر لدراسة انجراف التربة (Hudson 1964) و (Hall، 1970b) وبعضهم لتجارب خاصة (De ploey، 1983)، لكن ليست هناك طريقة معيارية واحدة لجهاز يمثل واقعياً

المطر الطبيعي. وفي هذا البحث صُمم ونُفذ جهاز مطر صناعي ودرست كفاءته في توليد شدات مطرية مختلفة متناسبة مع الشدات المطرية في سورية.

أهداف البحث

هدف البحث هو تصميم وتنفيذ جهاز محاكاة المطر الطبيعي في سورية والتحقق من كفاءة الجهاز عبر تنفيذ الدراسات التالية:

- 1 - تقدير الشدة المطرية.
- 2 - تقدير حجم قطرة المطر وسرعتها النهائية.
- 3 - تقدير الطاقة الحركية المطرية.

مواد البحث وطرائقه

جرت محاولات عدة قبل الوصول إلى نموذج يتناسب مع الظروف المناخية والشدة المطرية في سورية. حيث كانت هناك محاولات أولية في اختيار نموذج جهاز محاكاة المطر لإجراء دراسات عن انجراف التربة وتأثير المطر في خصائص التربة، بتنفيذ بعض التصاميم البسيطة لإجراء تجارب أولية على الترب في هذا المجال في كلية الزراعة (أبي جرش) بجامعة دمشق. واستمر العمل بالنموذج المذكور إلى أن برزت الحاجة لضرورة إجراء دراسات دقيقة ومتعمقة في هذا المجال وضرورة تأمين مستلزمات البحوث وفق نموذج يستند إلى معايير عالمية ويفي بالغرض ويُلبي متطلبات الاحتياجات البيئية للمناخ السوري ضمن مجال الشدات المطرية فيها.

هناك عدة أشكال وحجوم من أجهزة محاكاة المطر، وهناك عدة أنواع منها أجهزة مضغوطة تعتمد على مبدأ ضغط الماء في الجهاز ومنها ما هو غير مضغوط أي لا حاجة لضغط الماء فيها، ومن ثم فالمشكلة الرئيسة فيها ضرورة تأمين ارتفاع مناسب كي تصل قطرة المطر إلى السرعة النهائية المطلوبة. درُست العلاقة بين الارتفاع وسرعة السقوط من قبل Epema و Riezebos (1983). فمثلاً للحصول على قطرات مطرية قطرها (5 مم) نحتاج إلى ارتفاع 12 م عن سطح الأرض للحفاظ على السرعة النهائية وهذا من الصعب تطبيقه حقلياً. علماً بأن تصميم هذا النوع من الأجهزة يتم مخبرياً كما هو الحال في بلجيكا حيث صمم جهاز الجيومورفولوجية بارتفاع 7.0 م للحصول على أقصى سرعة نهائية وطاقة حركية ممثلة للمطر الطبيعي (De Bryan و Ploey 1983). كما جرى تصميم وتصنيع نماذج مختلفة لجهاز محاكاة المطر (Jacqueline et. al 2003).

قمنا باختيار النوع الأول من أجهزة محاكاة المطر في تصميم وتركيب الجهاز والذي يعتمد على مبدأ ضغط الماء وفوهة المطر وفق نموذج (Morin). حيث يسهل استخدامه مخبرياً وحقلياً. إضافة إلى سهولة تأمين أغلب القطع اللازمة في أقسام الجهاز،

وضرورة إجراء الصيانة والإصلاح عند الضرورة. وضمن تكلفة محلية لا تتجاوز 30% مقارنة مع تكلفة استيراد كامل قطع الجهاز من الخارج.

م واد البحث

- 1 - جهاز محاكاة المطر وملحقاته: يتألف الجهاز من الأقسام الآتية كما هو موضح في الشكل (1):
 - 1 - صمام الأنبوب الرئيسي لتزويد الماء.
 - 2 - خزان تجميع المياه.
 - 3 - مضخة المياه.
 - 4 - محرك السرعة.
 - 5 - صمام للتحكم بتصريف الماء والضغط.
 - 6 - أنبوب تزويد الماء الرئيسي من الخزان إلى فوهة المطر.
 - 7 - نماذج فوهة التمثير: هناك نماذج عديدة وقد اختير نموذجان يمكن الحصول على الهطل المطري بشكل مخروطي full cone أحدهما للشدات المطرية العالية (Nozzle 1½ H30) والنموذج الثاني للشدات المطرية المنخفضة والمتوسطة (Nozzle 1HH12). وذلك صنع شركة أمريكية (Spraying System Co. in USA).
 - 8 - قرص الدوران بسرعات مختلفة 4-200 دورة/دقيقة، وفتحات فراغية 5-10-40 م.
 - 9 - فتحة تصريف الماء الزائد عن الهطل المطري.
 - 10 - أنبوب تصريف الماء الزائد عن الهطل المطري.
 - 11 - الهيكل القاعدي المعدني لتنشيط الجهاز.
 - 12 - غطاء بلاستيكي لتحويل الماء الهاطل للداخل ومنع الطرشة خارج المكان، ومصدات حماية من تأثير الرياح.
 - 13 - وحدة التحكم الكهربائي (المضخة قرص الدوران).

ملحقات الجهاز:

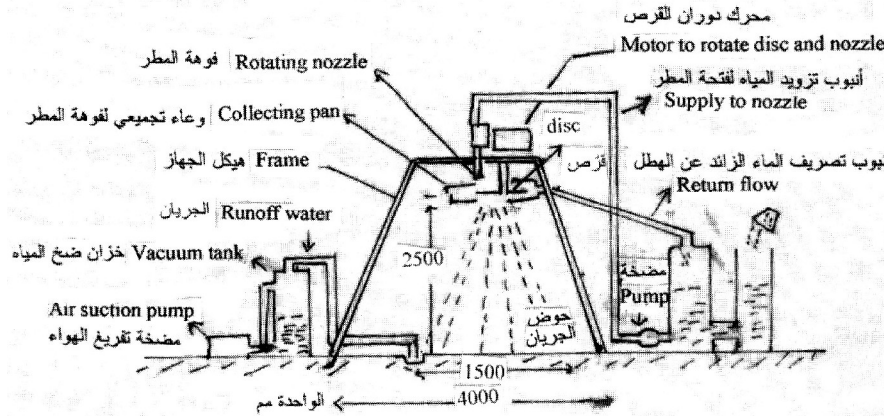
- 1 - طاولة خشبية مستديرة قابلة للدوران حول محور معدني (ومجهزة بقاعدة حديدية). مصنوعة من الخشب المغلف بالفورميكا، رُكبت على ارتفاع 70 سم عن سطح الأرض وتبعد 2.5 م عن فوهة مطر الجهاز، لها شكل دائري قطره (180 سم)

يتمركز في محورها عمود مع هيكل معدني يسمح بدوران الطاولة حول محورها. ثم غُلفت الطاولة بغطاء بلاستيكي لمنع تأثيرها بالمطر.

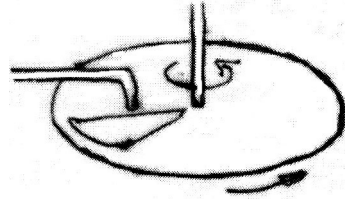
2- أنابيب قياس المطر (rain guage): قطر الدائرة لفتحة الأنبوب (7سم).

3- أحواض التجربة.

وقد صُنعت معظم أقسام الجهاز محلياً وحسب المواد المتوافرة ماعدا نماذج فوهة المطر والتي تم استيرادها مصنعة من خارج القطر. بعد إجراء التصميم والاختبارات اللازمة لعمل أقسام الجهاز مع بعضها بعضاً وبيان مدى كفاءته.



Skech of the rainfall simulator used in Mali to measurement infiltration and runoff of crusted sandy soils-units:mm
Source: Stroosnajder and Hoogmed (1984)



الشكل (1) مخطط لجهاز محاكاة المطر وأفق القرص الدوران

5Morin Rotating disc

طرائق البحث

مبدأ عمل الجهاز

يندفع الماء من الخزان إلى فوهة التمثير عبر أنابيب التوصيل بواسطة مضخة يمكن التحكم بكمية الماء المتدفقة وضغط الماء بواسطة صمام، كما يوجد مقياس للضغط قرب فوهة المطر يسمح بقياس ضغط الماء. تصل كمية دفع الماء من فوهة المطر في نموذج (Nozzle 1HH12) 640 مم/سا إلى سطح التربة أسفل الجهاز عندما يتوافر ضغط 60 Kpa. إن الشدة المطرية الواصلة لسطح التربة تتخفف بسبب دوران القرص المعدني قرب فوهة المطر والواقع تحته مباشرة، حيث يحوي هذا القرص المعدني على قطاع فراغي يعادل 40 م°. يهطل المطر في كل لحظة دوران للقرص تتقابل فيه فتحة القرص مع فوهة المطر. يتم التحكم بالشدة المطرية الواصلة إلى سطح التربة حسب حجم فتحة القرص. إن كمية الماء المزاح بواسطة القرص والزائد عن الهطل يُنقل من خلال فتحة التصريف الموجودة في الخزان التجميعي المحيط بفوهة المطر عبر أنبوب بلاستيكي عالي المرونة إلى خزان الماء الرئيسي، ثم يعاد ضخه ثانية إلى فوهة المطر. يعد تصميم هذا الجهاز وعمله مشابهاً لتصميم (Morine et al, 1967).

اختبار كفاءة الجهاز على محاكاة المطر الطبيعي

تقدير كمية المطر والشدة المطرية:

تقدر كمية المطر الهاطل على وحدة المساحة خلال زمن معين وذلك بعد توزيع أنابيب قياس المطر فوق الطاولة بشكل عشوائي ثم تقسم كمية المطر الهاطل بالأنابيب (مم³) على مساحة السطح التجميعي لكمية المطر في الأنابيب فنحصل على كمية المطر الهاطل مقدر (مم). يجري جمع كمية المطر الهاطل في وعاء قياسي خلال فترة عشر دقائق من أجل الحصول على قياس متجانس، إختير الوعاء القياسي صغيراً نسبياً، ليتمكن من تسجيل تغيرات كمية المطر تبعاً للمكان، وذلك حسب مواصفات أوعية قياس المطرية عند Ellison بقطر 7 سم. إذ يعد هذا القياس بمنزلة إجراء عملي عند اختيار قطع تجريبية حتى أبعاد 3×3 م. يمكن توزيع أوعية القياس بطريقة تناظرية أو وفق نموذج خلايا مقسمة أسفل جهاز المحاكاة أو توضع عشوائياً باستخدام الأرقام العشوائية لتحديد إحداثيات العينة. كما توجد طريقة أخرى لتقدير كمية المطر بوضع حوض خشبي مساحته 1م² وله حافات جانبية بارتفاع 10سم ومزود أحد جوانبه بميزابة أفقية لتسهيل جمع كمية الجريان بعد امتلاء الحوض بماء المطر، حيث تقدر كمية المطر خلال زمن معين بعد ثبات كمية الجريان من الحوض.

الشدة المطرية هي كمية المطر الهاطل في وحدة المساحة مقدره مم خلال وحدة الزمن (ساعة أو دقيقة) وفق الصيغة الآتية:

$$\text{الشدة المطرية (مم/سا)} = \frac{\text{كمية المطر بالوعاء (سم}^3\text{)}}{\text{مساحة الوعاء التجميعي (سم}^2\text{)}} \times \frac{60}{\text{زمن الاختبار (دقائق)}} \times \frac{10}{1} \quad (1)$$

يجري التغلب على مشكلة تجانس توزيع الهطل المطري بتدوير الطاولة الحاملة لأوعية القياس أسفل الجهاز كما هو الحال عند Nord (1991) جرى تقدير كمية الهطول المطري والشدة المطرية ضمن حالتين حسب نموذجي فوهة المطر:

1 - الشدة المطرية حسب نموذج Nozzle 1 1/2H30

ذلك بتغيير كل من العوامل الآتية:

ضغط الماء: اختيرت ثلاثة ضغوط في التجربة (0.4 0.8 1.1) بار .
سرعة دوران القرص: حددت سرعات دوران القرص (18- 36- 72 144 198) دورة/ دقيقة.

زمن التجربة: 5 دقائق لكل مكرر عند كل حالة اختبار لتقدير الشدة المطرية.
وزعت أنابيب قياس المطر فوق طاولة الجهاز عشوائياً (شكل 3) مع تثبيت الطاولة ومواقع الأنابيب خلال مراحل التجربة حيث قدرت كمية المطر الهاطل في كل أنبوب والشدة المطرية فيه.

2 - الشدة المطرية حسب نموذج Nozzle 1HH12

جرى تقدير كمية الهطول المطري وذلك بتغيير كل من العوامل الآتية:

1 - ضغط الماء: اختير ضغط في التجربة (0.4) بار .
2 - سرعة دوران القرص: حددت سرعة دوران القرص 30 دورة/ دقيقة.
3 - زمن التجربة: عشر دقائق لكل مكرر عند كل حالة اختبار لتقدير الشدة المطرية.
وزعت أنابيب قياس المطر فوق طاولة الجهاز عشوائياً مع تثبيت الطاولة ومواقع الأنابيب خلال زمن التجربة حيث قدرت كمية المطر الهاطل في كل أنبوب ثم تدوير الطاولة يدوياً كل دقيقتين.

تقدير حجم قطرة المطر وسرعتها النهائية والطاقة الحركية

يختلف حجم قطرة المطر من الأقطار الدقيقة عندما يكون المطر على هيئة ضباب وحتى قطر (6-7 مم). ولهذه القطرات أشكال وحجوم، فالقطرات الصغيرة عملياً كروية، [ولكن القطرات الكبيرة تتشكل في أثناء الهطول. وفي بعض الحالات يزداد محيط القطرة وتبدو مسطحة عندما تصبح القطرات < 6 مم ولكنها تكون غير مستقرة وينفصل جزء منها بسهولة إلى أجزاء أصغر]. يعبر عن حجم القطرة بقطر القطرة أو

كتلتها، حيث يفترض أن القطرات كروية الشكل. مما يتطلب القيام بإجراءات تقنية لحساب أثر البخار الحاصل لقطرات المطر خلال فترة جمعها عند سقوطها حيث يمكن أن يكون معنوياً (Hudson 1964b). ففي الهواء الرطب والبارد تشكل 1% من كتلة القطرة في حين في الهواء الحار والجاف يشكل فقد البخار حتى 3% من كتلة القطرة وهذا يتطلب إجراء تصحيح رياضي لذلك.

هناك عدة طرائق لقياس حجم قطرة المطر Rudolf (1997) منها:

- 1 - النقاط القطرات في سوائل عالية التبريد.
- 2 - طريقة الرادار.
- 3 - طريقة التصوير.
- 4 - قياس التبعات الناشئة عن القطرات باستعمال مواد مختلفة مثل أكاسيد المغنيزيوم والطحين (Bentley 1940) و (Hudson 1964c) وغيرها...
- 5 - طريقة النقاط القطرات في الزيوت الثقيلة، وقد اخترنا الطريقة الأخيرة لتقدير حجم قطرات المطر كونها سهلة التطبيق وذات دقة في القياس حيث لا يتشوه شكل القطرة الأصلي عند السقوط وقد البخار يكون قليلاً، وسهولة توافر المواد اللازمة.

قدر حجم قطرة المطر باستخدام طريقة الزيت حسب (Kinzer و Gunn، 1949) حيث يوضع الزيت بسماكة 0.5 سم في طبق بترى ويعرض للمطر مدة 1-2 ثانية ويؤخذ مباشرة لدراسة حجم القطرات أسفل المجهر الضوئي حيث توضع ورقة ملمترية، ويُقدر متوسط حجم قطرات المطر بعد تقدير متوسط قطرها ثم يُحسب الحجم الكروي لها. وبالاعتماد على العلاقة بين الشدة المطرية ومتوسط قطر القطرة في المطر الطبيعي حسب (Laws و Parsons 1943) الممثلة بالصيغة الآتية:

$$(2) \quad D50 = a I^b$$

حيث $a = 1.24$ و $b = 0.18$ و $I =$ الشدة المطرية (مم/سا) و $D50 =$ متوسط قطر القطرات (مم).

أما بالنسبة للسرعة النهائية لقطرة المطر، فقد حددت بعض الدراسات المرجعية أن حجم القطرة وشكلها يحدد إلى حد كبير سرعة السقوط النهائية لها، فالقطرات ذات الحجم الكبيرة لها سرعة سقوط نهائية أكبر من القطرات ذات الحجم الصغيرة، وتصل القطرات إلى أقصى سرعة لها بعد سقوطها عند ارتفاع (8-10 م) عن سطح الأرض، وهذا يتطلب إنشاء فوهات مطرية لجهاز محاكاة المطر على الارتفاع السابق نفسه. أو لهذه القطرة سرعة سقوط بدائية محددة كما هو في جهاز محاكاة المطر عند

(Morin). وقدرت السرعة النهائية لقطرة المطر حسب Gunn and Kinzer (1949) و Gay et al. (1974) وفق العلاقة الآتية:

$$(3) \quad V = 9.4 (1 - e^{-0.63d})$$

حيث V = سرعة السقوط النهائية لقطرة المطر (م/ثا) و d = قطر القطرة (مم).
أما بالنسبة للطاقة الحركية للمطر فهي مجموع الطاقة الحركية للقطرات، وتحدد بالتوزيع الحجمي للقطرات. وسرعة السقوط وكمية المطر. وبينت بعض الدراسات المرجعية أن الطاقة الحركية للمطر الهاطل من ارتفاع 1.5 م أكبر بـ 6 - 13 مرة من الطاقة الحركية لو كان الهطل من ارتفاع الهطل الطبيعي للمطر. وتحسب الطاقة الحركية للمطر بالعلاقة الآتية:

$$(4) \quad E = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

حيث E = الطاقة الحركية (جول) و m = الكتلة (كغ) و v = سرعة السقوط (م/ثا).

كما قدرت الطاقة الحركية حسب (WISCHMEIR & SMITH 1958) حسب العلاقة الآتية:

$$(5) \quad E = 11.9 + 8.73 \log I$$

حيث E = الطاقة الحركية للمطر (م²/م) و I = الشدة المطرية (مم / سا)

النتائج والمناقشة

1 - كمية المطر والشدة المطرية

بينت نتائج اختبار كمية المطر والشدة المطرية المنفذة في جهاز محاكاة المطر نموذج (كلية الزراعة جامعة دمشق) في الجدول (1) أنه يمكن التحكم في كميات المطر والشدات المطرية من خلال تغيير بعض العوامل (سرعة دوران القرص - ضغط الماء - فتحة القرص) حيث توجد علاقة ارتباط وثيقة ما بين الشدة المطرية وسرعة دوران القرص كما توجد علاقة ارتباط قوية ما بين الشدة المطرية والضغط المطبق على الجهاز عند سرعة دوران ثابتة، فمثلاً ازدادت الشدة المطرية عند سرعة دوران ثابتة 36 دورة/د من (115.8 إلى 179.9 مم/سا) عند زيادة الضغط من (0.4 إلى 1.1 بار).

الجدول (1) الشدة المطرية عند ضغوط مختلفة وسرعات دوران للقرص مختلفة

سرعة الدوران للقرص	18 دورة/د	36 دورة/د	72 دورة/د	144 دورة/د	198 دورة/د
ضغط الماء (بار)	0.4	0.8	1.1	1.1	1.1
الشدة المطرية ⁽¹⁾ مم/سا	118.42 ^{b(1)}	115.85 ^{b(1)}	125 ^{b(1)}	140.57 ^{a(1)}	173.35 ^{a(1)}
الشدة المطرية ⁽¹⁾ مم/سا	181.35 ^a	168.28 ^a	170.50 ^a	189.50 ^a	216 ^a
الشدة المطرية ⁽¹⁾ مم/سا	167.57 ^b	179.92 ^b	163.78 ^b	240.57 ^b	183.12 ^a

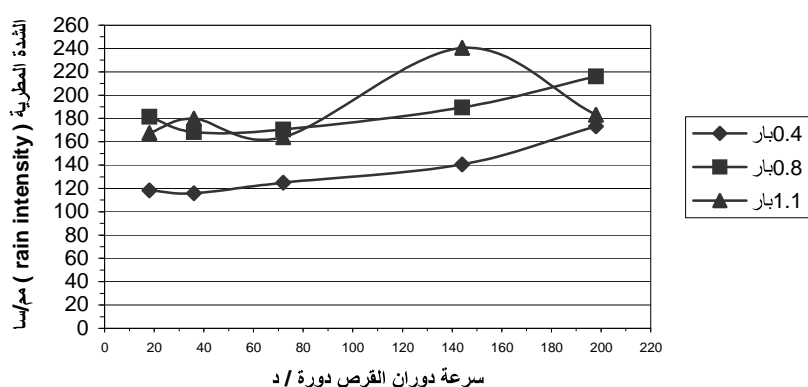
تشير الأحرف غير المتشابهة إلى وجود فرق معنوي على مستوى دلالة 5%
(1) كل رقم في العمود يمثل متوسط 14 قراءة في الاختبار

كما يبين الجدول (1) أن الشدة المطرية تزداد مع زيادة ضغط الماء المطبق على الجهاز عند سرعات ثابتة لدوران القرص في الجهاز. فمثلاً عند ضغط 0.4 بار ازدادت الشدة المطرية تدريجياً من (15.8 إلى 173.3 مم/سا) عند ازدياد سرعات دوران القرص بشكل متتال (18- 36- 72- 144- 198 دورة/د) وعند ضغط 0.8 بار ازدادت الشدة المطرية من (168.3 إلى 216 مم/سا) عند ازدياد سرعة الدوران بشكل متتال (18- 36- 72- 144- 198 دورة/د). أما عند ضغط 1.1 بار فتبينت زيادة في الشدة المطرية من (167.5 إلى 240.5 مم/سا) عند ازدياد سرعة دوران القرص بالتتالي (18- 36- 72- 144- 198 دورة/د)، ولكن حدث انخفاض في الشدة المطرية عند سرعة دوران للقرص 198 دورة/د مقارنة مع سرعة دوران القرص 144 دورة/د.

تبين أن لضغط الماء تأثيراً معنوياً في الشدة المطرية. كما تبين أن لسرعة دوران القرص تأثيراً معنوياً في زيادة الشدة المطرية وذلك عند مقارنة سرعات الدوران المنخفضة للقرص (18- 36 دورة/د) مع سرعات الدوران العالية للقرص (144- 198 دورة/د) كما هو الحال عند ضغط 0.4 بار.

يعود ازدياد الشدة المطرية مع زيادة الضغط إلى زيادة تدفق كمية الماء عبر فتحة الهطول المطري وفتحة القرص المقابلة له. كما تزداد الشدة المطرية مع زيادة سرعة الدوران للقرص بسبب أن القرص يحوي على فتحة تشكل قطاعاً دائرياً بزاوية 40° م[°] مقابلة لفوهة المطر ومن ثم تزداد فرصة التعرض للحصول على أكبر كمية من المطر خلال وحدة الزمن مع زيادة دوران القرص.

يوضح الشكل (2) أنه عند سرعة دوران القرص 144 دورة/د كانت أعلى نسبة فروق معنوية للشدة المطرية ما بين الضغوط المطبقة في الاختبار. كما يبين تأرجح الشدة المطرية عند ضغط 1.1 بار مع سرعات دوران مختلفة للقرص، فيعود ذلك لوجود المضخة المركبة على الجهاز بمواصفات القدرة على ضخ الماء لضغط لايزيد على 1.1 بار. كما أن الاستهلاك الكبير لكمية الماء من الخزان حيث ينخفض الضغط عند نقص الماء في الخزان، مما يجعل صعوبة الحفاظ على مستوى الضغط عند زيادة فترة الاختبار.



الشكل (2) منحنى الشدة المطرية مع سرعة دوران القرص حسب الضغوط

2 - تجانس توزيع الهطل المطري وفق نموذج Nozzle 1HH12

بعد إجراء الاختبارات على الجهاز وفق نموذج Nozzle 11/2H30 تبين أن الشدات المطرية التي حصلنا عليها كانت عالية، وقد بلغت الشدة المطرية (73.35-118.42) مم/سا عند ضغط للماء 0.4 بار وسرعات دوران للقرص مختلفة كما بلغت الشدة المطرية (167.57-240.57) مم/سا عند ضغط للماء 1.1 بار وسرعات دوران للقرص مختلفة. ولانتمت مع الشدات المطرية في سورية فمثلاً قدرت الشدة المطرية في بعض المواقع السورية الآتية (الرقة-دير الزور-درعا-اللاذقية) على التوالي كما

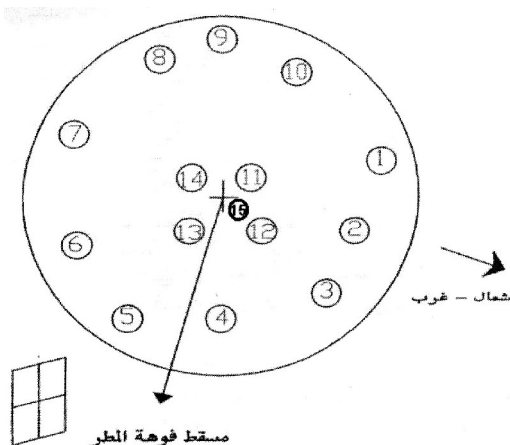
يأتي (46-28.5-16.5-58 مم/سا). حسب إحصائيات مديرية الأرصاد الجوية لفترة 15 سنة.

لذلك جرى اختبار تجانس توزع هطل المطر بالجهاز وفق نموذج Nozzle 1HH12 ولدى اختبار تجانس توزع الهطل المطري في الجهاز، عند ضغط للماء 0.4 بار وسرعات دوران للقرص (30 - 200 دورة /د). تبين في الجدول (2) عدم وجود فروق معنوية ما بين متوسطات كميات المطر الهاطلة خلال أزمنة متساوية فوق المساحة المختبرة والمقدرة بواسطة أنابيب قياس المطر بعد توزيعها عشوائياً فوق طاولة الجهاز، خلال أزمنة متساوية ومتكررة ضمن الشروط نفسها 200 دورة بالدقيقة. ولدى مقارنة توزع الهطل المطري فوق الأنابيب المختبرة تبين وجود تجانس في توزع المطر عند بعض المواقع (أي عدم وجود فروق معنوية لكمية المطر كما هو الحال في مواقع الأنابيب ذوات الأرقام من 1 وحتى 7 بالإضافة إلى الأنابيب 14 و15. في حين تبين عدم وجود تجانس في توزع المطر مقارنة مع مواقع أخرى (كما هو الحال في مواقع الأنابيب ذوات الأرقام من 8 وحتى 15. في الوقت ذاته هناك تجانس في توزع المطر فوق هذه الأنابيب). إذ إن مدى البعد أو القرب من مسقط فوهة المطر له دور في هذه التغيرات (الشكل 3).

الجدول (2) توزع الهطل المطري عند ضغط الماء (0.4 بار) وسرعة دوران للقرص 200 دورة/دقيقة

كمية المطر (مل)						متوسط المطر	رقم الأنبوب
30 دقيقة	25 دقيقة	20 دقيقة	15 دقيقة	10 دقيقة	5 دقيقة		
51	47	50	48	51	46	48.83 ^a	1
45	43	46	44	50	46	45.66 ^a	2
43	43	44	42	49	49	45 ^a	3
55	46	44	47	52	56	50 ^a	4
45	42	44	50	53	56	48.33 ^a	5
45	48	43	45	53	62	49.33 ^a	6
44	46	40	40	46	44	43.33 ^a	7
93	84	75	79	97	79	48.5 ^b	8
62	72	64	56	69	68	65.16 ^b	9
82	69	75	81	80	73	76.66 ^b	10
64	61	69.6	71	72	80	69.6 ^b	11
61	61	56	65	65	72	63.33 ^b	12
64	74	64	60	77	83	70.33 ^b	13
45	44	44	45	53	46	46.16 ^a	14
49	47	42	43	54	50	47.5 ^a	15
55.53 ^a	55.13 ^a	52.21 ^a	54.40 ^a	61.40 ^a	60.66 ^a	المتوسط الكلي	

تشير الأحرف غير المتشابهة إلى وجود فرق معنوي على مستوى دلالة 5%



الشكل (3) توزيع أنابيب المطر على الطاولة

يبين الجدول (3) نتائج معايرة جهاز محاكاة المطر لتقدير كمية المطر والشدة المطرية وفق نموذج الحوض بمساحة 1 م². حيث جرى قياس كمية الجريان من ميزابة الحوض والناجمة عن الهطل المطري بعد ثبات كمية الجريان في الحوض، وبمعدل كل دقيقة وفق 10 تكرارات. وقد حصلنا في نهاية الاختبار على متوسط الشدة المطرية 165 مم/سا عند ضغط 0.5 بار وسرعة دوران 36 دورة/د. تعدُّ هذه الطريقة من حيث المبدأ جيدة في المعايرة، ولكن لدى تنفيذها كانت كمية المطر الهائلة على الحوض أعلى منه في مقياس الأنابيب المطرية بسبب وقوع جزء من مساحة الحوض عند المسقط المقابل لفوهة المطر 0 والذي يسبب زيادة في قياس معدل الهطل كما نوهنا إلى ذلك بارتفاع كمية المطر كلما اقتربنا من المسقط المركزي لفوهة المطر.

الجدول (3) الشدة المطرية عند ضغط=0.5 بار وسرعة دوران 36 دورة/د

رقم المكرر	الجريان (لتر/دقيقة/م ²)	الشدة المطرية (مم/سا)
1	3.46	207.6
2	2.635	158.1
3	3.435	206.1
4	2.84	170.4
5	3.28	196.8
6	2.73	163.8
7	2.81	168.6
8	2.73	163.8
9	2.72	163.2
10	2.79	167.4
المتوسط		165

وبينت نتائج مقارنة توزيع الهطل المطري (الجدول 4) في نوعين من أوعية القياس المطرية (أنابيب وأحواض) أنه ليس هناك فرق معنوي بين متوسط كمية المطر الهاطلة سواء على الأنابيب أو على الأحواض عند ثبات الطاولة مقارنة مع دوران الطاولة. لأن كمية المطر الهاطلة على أوعية القياس الموجودة فوق الطاولة هي الكمية ذاتها سواء قمنا بتدوير الطاولة في أثناء الهطل المطري أو تركت ثابتة.

الجدول (4) الشدة المطرية عند ضغط الماء (0.4 بار) وسرعة دوران للقرص 30 دورة/ دقيقة

تدوير الطاولة			ثبات الطاولة			متوسط كمية المطر
R3	R2	R1	R3	R2	R1	
كمية المطر R3 ملل/10 دقيقة	كمية المطر R2 ملل/10 دقيقة	كمية المطر R1 ملل/10 دقيقة	كمية المطر R3 ملل/10 دقيقة	كمية المطر R2 ملل/10 دقيقة	كمية المطر R1 ملل/10 دقيقة	
31.61 ^{a(1)}			33.09 ^{a(1)}			الأنابيب
504.46 ^{a(2)}			490 ^{a(2)}			الأحواض

تشير الأحرف المتشابهة إلى عدم وجود فرق معنوي على مستوى دلالة 5%

(2) كل رقم في العمود يمثل متوسط 5 قراءات في الاختبار

(1) كل رقم في العمود يمثل متوسط 14 قراءة في الاختبار

ولكن هناك انحراف في توزيع كمية المطر الهاطلة فوق الأنابيب وبفروق معنوية بينها كما هو موضح في الجدول (5) حسب موقعها على الطاولة وحسب القرب أو البعد عن مركز الشكل الدائري للطاولة (والذي يمثل المسقط المركزي لفوهة المطر على الطاولة) إذ نقل كمية المطر الهاطلة كلما ابتعدنا عن مركز الطاولة وتزداد مع الاقتراب منها. وقد تبين بنتيجة الدراسة وحسب التحليل الإحصائي أن مجموع الانحراف الكلي لكمية المطر الهاطلة فوق الأنابيب عند ثبات الطاولة 13.03 وبخطأ تجريبي 2.04. في حين بلغ مجموع الانحراف الكلي لكمية المطر الهاطلة فوق الأنابيب عند دوران الطاولة 5.85 وبخطأ تجريبي 0.90. مما يدل على ضرورة تدوير الطاولة في أثناء الهطل المطري مع الأخذ بالحسبان المواقع المتجانسة في كمية المطر الهاطل.

الجدول (5) كمية المطر عند ضغط الماء (0.4 بار) وسرعة دوران اللقرص 30 دورة/ دقيقة

رقم الأنبوب	ثبات الطاولة	تدوير الطاولة
	متوسط كمية المطر لكل أنبوب	متوسط كمية المطر لكل أنبوب
1	26.66 ^{a(1)}	21.33 ^{a(1)}
2	25 ^a	27.66 ^c
3	34 ^b	37.33 ^d
4	29.33 ^a	28.66 ^c
5	43.33 ^b	40.66 ^c
6	42.66 ^b	34.66 ^c
7	30 ^a	27.33 ^c
8	28 ^a	27.66 ^c
9	40.33 ^b	37.33 ^d
10	26.33 ^a	28.66 ^c
11	20.33 ^a	23.66 ^a
12	29.66 ^b	36.33 ^d
13	28.33 ^c	35.66 ^d
14	59.33 ^d	35.66 ^d
مجموع الانحراف الكلي	13.03	5.85
خ.ت	2.04	0.90

تشير الأحرف غير المتشابهة إلى وجود فرق معنوي على مستوى دلالة 5%
(1) كل رقم في العمود يمثل متوسط 3 قراءات في الاختبار

3 - حجم قطرة المطر والسرعة النهائية والطاقة الحركية

بينت النتائج في الجدول (6) أن الشدة المطرية تتغير مع تغير بعض الخصائص المهمة للمطر، مثل قطر قطرة المطر والسرعة النهائية لها وطاقتها الحركية. وهذه الصفات ترتبط بعلاقات رياضية فيما بينها. وتعد دراسة الطاقة الحركية للمطر من أهم العوامل المدروسة في خصائص المطر كونه يشكل ما يقارب 50% من باقي الخصائص المطرية والمؤثرة في تحطيم التجمعات الترابية ودورها في انجراف التربة وتعريتها، في حين تشكل الشدة المطرية 12% من مجموعة العوامل الأخرى والمؤثرة في التربة. لذلك سوف نتناول العلاقة المتبادلة بين تلك الصفات:

حجم قطرة المطر والسرعة النهائية لها: كما بينت نتائج الدراسة (الجدول 6) أنه كلما ازداد حجم قطرة المطر تزداد السرعة النهائية لها فمثلاً عند قطر القطرة 3.1 مم كانت السرعة النهائية 8.84 م/ثا، في حين عند متوسط قطر قطرات المطر 2.5 مم كانت السرعة النهائية 7.5 م/ثا. وهذا ما توصل إليه بعض الباحثين (Laws و Parson، 1943).

الشدة المطرية ومتوسط قطرات المطر: يبين الجدول (6) أن قطر قطرة المطر يزداد نسبياً مع زيادة الشدة المطرية، حيث ازداد متوسط قطر قطرة المطر من 2.5 إلى 3.1 مم عند ازدياد الشدة المطرية من 46 إلى 165 مم/سا. وقد تبين في دراسات سابقة أنه يزداد قطر القطرة عند الشدات المطرية المنخفضة حتى 50 مم/سا ويبدأ تناقص قطر القطرة عند الشدات المطرية العالية عند 165 مم/سا (Laws و Parsons 1943).

الشدة المطرية والطاقة الحركية للمطر: يبين الجدول (6) أن الطاقة الحركية للمطر تزداد مع زيادة الشدة المطرية. فقد ازدادت الطاقة الحركية للمطر من 26.39 إلى 31.25 جول/م²/مم عندما ازدادت الشدة المطرية من 46 إلى 165 مم/سا. وقد تبين في دراسات مماثلة أن الطاقة الحركية تزداد مع زيادة الشدة المطرية حتى 75 مم/سا (Hudson 1981). وتبين في بحوث أخرى أنه يمكن الحصول على طاقة حركية 27.42 جول/م²/مم عند تطبيق ضغط 50 Kpa عند ارتفاع 2.75 م وباستخدام نموذجي فوهة المطر المذكورين في البحث (Elwell و Makwanga 1980).

الجدول (6) الخصائص المطرية لبعض اختبارات جهاز محاكاة المطر عند سرعة دوران للقرص (32) وضغط الماء بار 0.4

نموذج Nozzle	الشدة المطرية مم/سا	الطاقة الحركية جول/م ² /مم	قطر قطرة المطر مم	السرعة النهائية لقطرة المطر م/ثا
1 ½ H30	165	31.25	3.1	8.84
1HH12	46	26.39	2.5	7.52

الاستنتاجات والتوصيات

إن تصنيع وتركيب جهاز محاكاة المطر نموذج كلية الزراعة جامعة دمشق. قد فتح آفاقاً جديدة في مجال إمكان إجراء البحوث والدراسات عن انجراف التربة المائي ودراسة خصائصها وعلاقتها بالمطر الطبيعي سواء مخبرياً أم حقلياً. مما يوفر سرعة الحصول على المعلومات دون الانتظار سنوات طويلة للحصول على الهطل المطري الطبيعي تحت تأثير الظروف الطبيعية. كما أن نتائج هذه الدراسة استثمرت بدراسة تشكل القشرة في الترب الجبسية والعوامل التي أسهمت في تكوينها.

كما نوصي بضرورة الاستمرار في تطوير عمل هذا الجهاز ليواكب أجهزة محاكاة المطر العالمية، بعد أن توصل بعض الباحثين إلى آلية الحصول على نتائج عمل هذا الجهاز بعد ربطه بالحاسوب وسرعة تلقي النتائج ودقتها. وأخيراً يوصى بنشر هذه التقانة في جامعات القطر لإجراء الدراسات والبحوث سواء داخل القطر أو على نطاق الدول العربية.

REFERENCES

- Bentley, W. 1940. Studies of raindrops and raindrop phenomena. Monthly Weather Review. Vol. 32, p450.
- Bubbenzer, G. D. and Meyer, L. D. 1965. Simulation of rainfall and soils for laboratory research. Trans. ASAE, Vol. 8, No. 1, P 73-75.
- Bubbenzer, G. D. 1979a. Inventory of rainfall simulator. In USDA science and education administration Agricultural Reviews and Manuals. ARM-W-10. Proceeding of the rainfall simulator workshop. Tucson, Arizona. P120-130.
- Bryan, R. B. and De Ploey, J. 1983. Comparability of soil erosion measurements with different rainfall simulators. In De Ploey, J. (Ed). Rainfall simulation, runoff and soil erosion. Catena Supp. 4, p 33-56.
- De Ploey, J. (Ed). 1983. Rainfall simulation, runoff and soil erosion. Catena Supp. 4, Braunschweig.
- ECTC Test Method 2. 2001. Slope Erosion: bench-scale laboratory test Draft Standard Test Method for Determination of Rolled Erosion Control Product (RECP) performance in protecting soil from rainsplash proposed ECTC Testing Protocols (September 2001).
- Elwell, H. A. and Makwanga, H. 1980. Design and calibration of a rainfall simulator. Nozzle assembly for laboratory and field studies. Research Bulletin No. 25, Dept. Conservation and Extension, Salisbury, Rhodesia.
- Epema, G. F. and Riezebos, H. T. 1983. Fall velocity of water drops at different heights as a factor influencing erosivity of simulated rainfall. In De Ploey, J. (Ed). 1983. Rainfall simulation, runoff and soil erosion. Catena Supp. 4, p 1-17.
- Gun, r. AND Kinzer, G. D. 1949. The terminal velocity of fall for water droplet in stagnant. J. Meterology. Vol.54.p 243-248.
- Gay, M. J., R. F. Giffth, J.Latham & C.P.R.Saunders, 1974. The terminal velocities of charged raindrops and cloud droplets falling in strong electric fields. Quart. J. Roy. Meteor. Soc. 100, 682-687.
- Grieson, I. T., J. M. Oades. 1977. A rainfall simulator for field studies of runoff and soil erosion. Agricultural Engineering Res.22: 37-44
- Hudson, N. W. 1964a. A review of artificial rainfall simulator. Research Bulletin No. 7, Dept. conservation and Extension, Salisbury, Rhodesia.
- Hudson, N. W. 1964b. A review of the methods of measuring rainfall characteristics related to soil erosion. Research Bulletin No. 1, Dept. Conservation and Extension, Salisbury, Rhodesia.
- Hudson, N. W. 1964c. The flour pellet method for measuring the size of rain drops. Research Bulletin No.4, Dept. Coservation and Extension, Salisbury, Rhodesia.
- Hudson, N. 1981. Soil conservation. B. T. Batsford Ltd. London.Laws, J. O. and Parsons, d. a. 1943. The relation of rain drop size to intensity . Am. Geophys. Union Trans. Part II, 24, p452.
- Hall, M. J. 1970b. Use of the stain method in determining the drop size distribution of coarse liquid sprays. Trans. ASAE, Vol. 13, No. 1, P 33-37,41.

- Jameson and A.B.Kostinski. 2002. Spurious power-law relations among rainfall and radar parameters. *Q. J. R. Meteorol. Soc*, 128,pp. 2045-2058.
- Jacqueline Blanquies, Misty Scharff, Brent Hallock, 2003 The Design and construction of a rainfall simulator International Erosion Control Association (IECA), 34th Annual Conference and Expo., Las Vegas, Nevada, February 24-28.
- Jhon.D;Williams, E Dale, Wilkins, McCool.Don.k.,L.Larry., Baarstad, L Betty, I Klepper and Robert.,Papendick. 1996. The pacific northwest rainfall simulator: A research tool for the interior northwest.Agric Res Annual Report. Spec. Rpt.961,pp.37-40.
- Kincaid, D. R., J. I. Gardner, and H. A. Schreiber. 1964. Soil and vegetation parameters affecting infiltration under semi-arid conditions. IASH publication 65: 440-453.Morgan, R. P. C., 1986. Soil erosion & conservation. Longman Scientific & Technical – London & New York
- Laws, J.O.1941. Measurement of the fall velocity of water drops and raindrops. *Trans. Am. Geophys. Union*. Vol. 22, p 709-721.
- Laws, J. O. & Parson, 1943. The relation of rain drop size to intensity. *Trans. Am. Geoph. Union* 24, 452-460.
- Lemaire D.; L. FBliven; C.; P. Sobieski. 2002. Drop size effects on rain-generated ring-waves with a view to remote sensing applications. *International. J. Remote Sensing*, Vol 23, Number 12,20 June 2002, pp. 2345-357.
- Morin, J., Goldberg, D. and Seginer, I. 1967. A rainfall simulator with a rotating disc. *Trans ASAE*. Vol. 10, p 74-77.
- Morgan, R.P.C. 1986. Soil erosion and conservation. Longman, London.
- Morgan,R.P.C. 1995. Soil erosion and conservation, 2nd ed., Longman, Uk.
- Nord, J.C. 1991. A laboratory rain chamber for testing rain fastness of insecticide deposits. *J. Entomol. Soc*. Vol. 26, No. 2, p 267-270.
- Rudolf J. Schick. 1997. An engineers practical guide to drop size. *Spraying system Co*. p 4-25.
- Simanton, J. R., M. A. Weltz, and H. D. Larsen. 1991. Rangeland experiments to parametrize the water erosion prediction project model: Vegetation canopy cover effects. *Journal of Range Management* 44(3): 276-282.
- Sumner, H. R., R. D. Wauchope, C. C.Truman, C. C. Dowler, and J. E. Hook. 1996. Rainfall simulator and plot design for mesoplot runoff studies.*Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 39:125-130.
- Wischmer, W. H. & D.D. Smith, 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 39, 285-291.

Received	2005/09/20	إيداع البحث
Accepted for Publ.	2005/12/21	قبول البحث للنشر