

تصميم وتنفيذ شبكة لتمثيل المطر

محمد الشربيني كيان^١ ، عبدالله سعد الوقдاني^٢

المستخلص

تعتبر شبكات تمثيل الأمطار من الأدوات المفيدة في دراسات العمليات الهيدرولوجية ودراسات انجراف التربة. وقد تم استخدام شبكات تمثيل المطر في الأبحاث في العديد من المناطق بالعالم ولكن مثل هذه الأبحاث نادرة بمنطقة الشرق الأوسط وخاصة بالعالم العربي. وقد تم في الدراسة الحالية تطوير شبكة لتمثيل المطر تسمح بالتحكم في خصائص الهطول المطري على منطقة أعدت للتجارب بأحد الأودية شبه الجافة بغرب المملكة العربية السعودية. وقد صممت الشبكة بغرض إجراء الأبحاث المتعلقة بالعلاقة بين المطر والسيول والتسرب ورطوبة التربة بمنطقة الدراسة. وتتكون شبكة تمثيل المطر من رشاشات وخزان مياه وشبكة من الأنابيب وعداد لقياس تدفق المياه ومضخة و عدد من الصمامات. وتحتوي الشبكة على ٢٤٠ رشاشا تثبتت على مسافات بينيه بلغت ٢٥ سنتيمتر وذلك على خمسة أنابيب طول كل منها ١٢ مترا ويحمل الشبكة حوامل معدنية بلغ ارتفاعها متر واحدا من سطح الأرض. وقد تم اختيار الرشاشات المستخدمة من بين تسعة أنواع من الرشاشات المتوفرة محليا بناء على قيم شدة الهطول الناتج عنها وكذلك قيم معامل الانتظامية للهطول الناتج عن الشبكة. وقد تميزت شبكة تمثيل المطر المنتجة بهذه الدراسة بأنها تغطي مساحة أكبر من المساحات التي غطتها معظم الشبكات التي صممت بالدراسات السابقة و بكلفة مالية معتدلة نظرا لاعتمادها على المواد المتوفرة محليا.

المقدمة

الغرض الأساسي لتطوير أجهزة لتمثيل المطر هو محاولة الحصول على أمطار صناعية مماثلة للأمطار الطبيعية بأفضل دقة ممكنة و بغرض إجراء الدراسات التي يصعب إجرائها حال هطول الأمطار الطبيعية. و تتميز أجهزة تمثيل المطر بأنها تمكن الباحثين من تحديد مكان الهطول ومدته و شدته مما يوفر الوقت للباحثين ويمدهم ببيانات ما كان يمكن الحصول عليها إلا بعد انتظار هطول عدد كبير من الأمطار الطبيعية وهو ما يستغرق عادة بضع سنوات خصوصا بالمناطق الجافة وشبه الجافة.

تنقسم أجهزة تمثيل المطر إلى صنفين رئيسيين هما أجهزة مكونة لنقط المطر (drop-forming simulators) و أجهزة تتكون من رشاشات (Pressurized Nozzle simulators) (Thomas and EL Swaify, 1989). ويعتبر استخدام النوع الأول من هذه الأجهزة في الدراسات الحقلية غير عملي نظرا لكونه يتطلب سقوط قطرات المطر من مسافات بعيدة (١٠ أمترا) ، (Grierson and Oades, 1977).

١ قسم الري والهيدروليكا- كلية الهندسة- جامعة القاهرة - بريد الكتروني kiwanahmed@hotmail.com
٢ قسم علوم وإدارة موارد المياه- كلية الأرصاد والبيئة وزراعة المناطق الجافة - جامعة الملك عبدالعزيز
ص. ب ٨٠٢٠٨ جدة ٢١٥٨٩ بريد الكتروني awagdani@kau.edu.sa

و تعتبر الأجهزة المكونة من الرشاشات مناسبة للعديد من الاستعمالات ويمكن استخدامها بالحقل (Blanquies, et al. , 2003). وقد تعددت تطبيقات أجهزة تمثيل المطر لتشمل دراسات التربة وانجرافها والسيول وتكونها وتصميم نظم الري و تتبع حركة الأسمدة الكيميائية بل حتى تطبيقاتها في اختبارات صلاحيات التجهيزات الحقلية الخارجية ومواد البناء و أيضا دراسة حساسية الأجهزة التي تعتمد على الأمطار في تشغيلها.

ولقد قام عدد من الباحثين بتصميم أجهزة لتمثيل المطر الطبيعي و استخدامها في العديد من دول العالم. وقد كان الغرض من معظم دراسات أجهزة تمثيل المطر هو أبحاث انجراف التربة يلها أبحاث السيول والتسرب. فقد طور الباحثان (Grierson and Oades, 1977) باستراليا جهازا لتمثيل المطر يغطي مساحة مترا مربعا فقط لاستخدامه في تقدير السيل الناتج عن الهطول ودراسات انجراف التربة. وأنشأ الباحثان (Thomas and EL Swaify, 1989) بالولايات المتحدة الأمريكية جهازا لتمثيل المطر لاستخدامه في الدراسات الحقلية للتسرب و انجراف التربة والسيول و تراوحت قيم معامل الانتظامية للهطول الناتج عن الجهاز بين ٩١ و ٩٤%. وقد قام الباحثون (Navas et al., 1990) بتصميم ومعايرة و تشغيل جهازا لتمثيل المطر بهدف دراسة السيول وانجراف التربة ببريطانيا. كما قام الباحثان (Smith and Schreiber, 1993) بتصميم جهاز لتمثيل المطر يتم التحكم به بواسطة جهاز الحاسب الآلي نظرا لاحتوائه على جهاز للتحكم قابل للبرمجة. صمم الباحثون (Blanquies, et al. , 2003) جهاز تمثيل مطر متحرك لاستخدمه بأبحاث الغطاء النباتي و انجراف التربة بجامعة بوليتك بولاية كاليفورنيا. وقد تكون الجهاز من أربع رشاشات و عداد لقياس التدفق و خزان مياه ومضخة وغطى مساحة صغيرة حيث بلغت حوالي ٣,٥ مترا مربعا. ويعد الجهاز المصمم من قبل الباحثين (Munster et al., 2006) من أكبر شبكات تمثيل المطر حيث استخدم لأجراء تجارب في منطقة بلغ طولها ١٤ مترا وعرضها ٧ أمتار وقد تراوحت قيم معامل الانتظامية للهطول الناتج عن الشبكة بين ٥٨% و ٧٣%.

وقد قام الباحثون (Tongpummuk, et al., 2008) بتطوير جهاز لتمثيل المطر بتايلاند باستخدام رشاشات تم اختيارها من بين عدد من الرشاشات محلية الصنع عن طريق قياس معامل الانتظامية وحجم قطرات الماء الناتج عنها. وقد وجد الباحثون أن قيم معامل الانتظامية للهطول قد تراوحت بين ٧٢ و ٩١%.

وقد تبين من المسح الأدبي للدراسات السابقة عدم وجود دراسات منشورة تم استخدام أجهزة تمثيل المطر بها بالعالم العربي وذلك حسب معرفة الباحثين بالدراسة الحالية. وتعد الدراسة الحالية رائدة في هذا المجال بالمملكة العربية السعودية والعالم العربي حيث تم تصميم وتنفيذ شبكة لتمثيل المطر تتكون من شبكة من الرشاشات تم اختيارها من بين عدد من الرشاشات المتوفرة محليا عن طريق اختبار أداء الرشاشات الانفرادي و كذلك أدائها عند التداخل بين أربع و ستة عشر رشاشا. كما تتميز شبكة تمثيل المطر المنتجة بالدراسة الحالية بأنها تغطي مساحة

كبيرة (٦٠ مترا مربعا) مقارنة بمعظم الشبكات التي تم استخدامها بالدراسات السابقة حيث كان معظمها يغطي مساحة أقل من خمسة أمتار مربعة.

طرق ومواد الدراسة

لقد كانت المهمة الأولى المتعلقة بتصميم شبكة تمثيل المطر اختيار الرشاشات الملائمة للتجربة والذي يشمل تقييم الأداء الفردي لكل رشاش وكذلك الأداء الناتج عن تداخل الهطول بين الرشاشات المكونة للشبكة. أما الخطوة الثانية فكانت تصميم وتنفيذ الشبكة وتركيبها في الموقع المحدد بوادي نعمان.

تعد الرشاشات أهم أجزاء الشبكة المستخدمة لتمثيل المطر وتعتمد عليها قيم شدة الهطول وانتظامية الهطول. و تتم عملية اختيار الرشاشات المناسبة عن طريق اختبار عدد من الرشاشات المختلفة و انتخاب أفضلها من حيث الأداء الفردي و كذلك عند التداخل بين الرشاشات. و لقد تم في الدراسة الحالية اختبار تسعة أنواع من الرشاشات المتوفرة محليا. ويعرض الشكل (١) الرشاشات المختبرة والتي يتضح تباينها من حيث الشكل و مواد التصنيع. ومما هو جدير بالذكر انه يجب الربط بين افطار جزيئات المياه المتساقطة من الشبكات وقطر جزيئات المطر الفعلي حيث انها تؤثر في معدل السيول ولكن في هذه الدراسة لم يتناول هذا الموضوع بالبحث حيث انه خارج الاهداف المحددة.

وقد تم اختبار أداء الرشاشات الفردي عن طريق تثبيت رشاش على أنبوب موصل بمضخة مياه ثم قياس شدة الهطول عن طريق عدد من العلب موزعة توزيعا متماثلا على يمين وشمال الأنابيب الحامل للرشاش كما هو موضح بالشكل (٢). و قد تم تشغيل كل واحد من الرشاشات لمدة ١٥ دقيقة وتم تسجيل عمق المياه المسجل في كل علبة و تم حساب شدة الهطول بقسمة عمق الهطول على مدته.

وقد تم مراعاة تداخل الهطول بين الرشاشات في شبكة تمثيل المطر حيث تم حساب عمق المياه الناتج عن التداخل وليس عمق المياه الناتج عن رشاش واحد وذلك عن طريق إيجاد علاقة رياضية توضح التوزيع المكاني للمياه الناتجة عن كل واحد من الرشاشات المختبرة. وقد استخدمت المعادلات المستنتجة للتنبؤ بالتوزيع المكاني للهطول الناتج عن التداخل بين أربع رشاشات أو ١٦ رشاشاً وذلك لجميع النقاط التي تقع على ٢١ مقاس من الشبكات التي تراوحت أبعاد خلاياها من ٢٠ سم إلى ثلاثة أمتار. وقد حسبت شدة الهطول (Rainfall Intensity) المتوقعة و معامل الانتظامية (Uniformity Coefficient) في الهطول لكل شبكة خلايا وبفرضية التداخل بين أربع رشاشات و كذلك بين ١٦ رشاشا وجميع الرشاشات المختبرة.

وقد كانت المرحلة الأخيرة بعد اختيار و اختبار الرشاشات هي تصميم و تنفيذ الشبكة التي تكونت من شبكة من أنابيب توزيع المياه و رشاشات ومضخة مياه ومحابس وعداد لقياس تصرف المياه.

٣- النتائج والمناقشة

يوضح الجدول (١) أفضل العلاقات الرياضية المستنتجة بين عمق المياه الهائل وبعد النقطة عن الرشاش وذلك لجميع الرشاشات التي تم اختبارها بالدراسة الحالية. كما يعرض الجدول أيضا قيم معامل الارتباط لكل معادلة. وقد كانت معظم العلاقات غير خطية ولم تتبع الرشاشات نوعا واحدا من المعادلات بل تباينت فيما بينها وإن كانت قيم معامل الارتباط جيدة لمعظمها ما عدا النوع الخامس الذي كان في أداءه الكثير من العشوائية ولم تكن هناك معادلة رياضية تمثل أداءه بصورة جيدة.

جدول (١): نتائج التمثيل الرياضي لأداء الرشاشات المختارة.

نوع الرشاش	أفضل معادلة لتمثيل أداء الرشاش	a	b	c	R ²
T1	$Y = a \cdot e^{(X-b)^2/c}$	100.5	58.35	-1793	0.93
T2	$Y = a \cdot e^{(X-b)^2/c}$	24.01	33.64	-863	0.80
T3	$Y = a \cdot b^X \cdot X^c$	3.358	1.021	-0.2292	0.92
T4	$Y = 1/(a \cdot (X+b)^2 + c)$	7.06E-06	-165.8	0.03639	0.77
T5	$Y = a + b \cdot X + c / X$	3.355	0.1446	0.00143	0.25
T6	$Y = a \cdot b^X \cdot X^c$	0.426	1.017	-0.1546	0.85
T7	$Y = a + b \cdot X + c / X$	5.755	-0.0446	0.000198	0.92
T8	$Y = a \cdot b^X \cdot X^c$	3711	1.01	-1.596	0.93
T9	$Y = a + b \cdot X + c / X$	112.3	-0.8012	-695.8	0.93

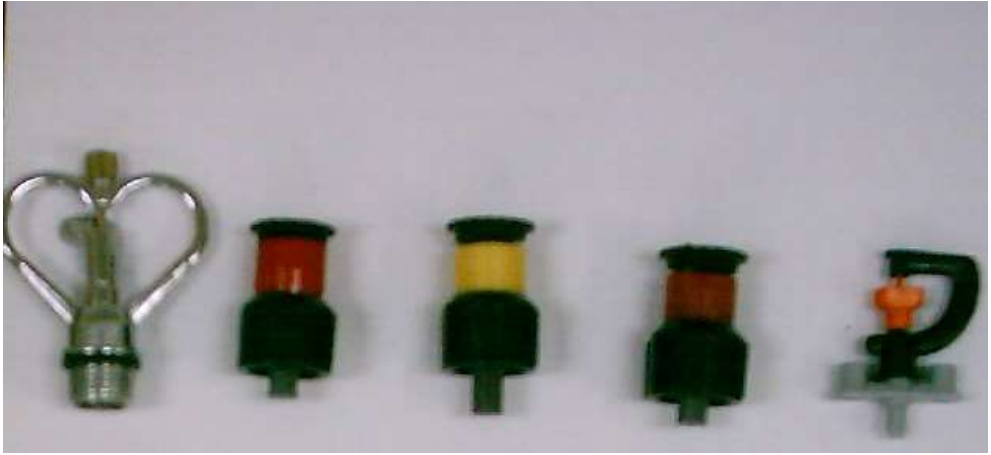
Y: شدة الهطول (مم/ساعة) ، X: البعد عن الرشاش (سم)

لقد تم حساب شدة الهطول المتوقعة وكذلك معامل انتظامية الهطول عند تداخل الهطول بين أربعة وستة عشر رشاشا كما هو موضح في الأشكال (٣) إلى (٦). يعرض الشكل (٣) قيم شدة الهطول عند أخذ التداخل بين أربعة رشاشات فقط ومنه يتضح أن النوع الأول من الرشاشات يعطي شدة هطول عالية. وقد تأكد ذلك في الشكل (٤) الذي يوضح قيم شدة الهطول عند التداخل بين هطول ١٦ من الرشاشات حيث تجاوزت قيم شدة الهطول ٩٠٠ مم/ساعة لكل من النوع الأول والثامن والتاسع من الرشاشات وحيث أن مثل هذا الهطول لا يحدث في الواقع في منطقة الدراسة حتى في حالة الأمطار التاريخية ذات الفترات التكرارية التي تصل إلى ١٠٠ سنة فقد تم استبعاد الأنواع الثلاثة من الرشاشات إضافة إلى النوع الخامس الذي كان عشوائيا في أداءه كما ذكر سابقا وتم التركيز على الخمسة الأنواع الأخرى.

يوضح الشكل (٦) انخفاض معامل الانتظامية للنوع الثاني من الرشاشات مما استدعى استبعاد النوع الثاني أيضا من الرشاشات وبذلك يتبقى أربعة أنواع من الرشاشات للاختيار من بينها. وقد كانت الأربعة رشاشات متقاربة من حيث الأداء ولكن كان النوع الرابع الأنسب للاستخدام في تجربة تمثيل المطر نظرا لأنه يعطي معامل انتظامية عالي وفي نفس الوقت شدة هطول متوسطة مقارنة بالرشاشات الأخرى لذلك تم اختيار هذا النوع ليستخدم في تصميم شبكة توزيع المياه للتجربة.

لقد تكونت شبكة توزيع المياه لتجربة تمثيل المطر من أنابيب معدنية وبلاستيكية ورشاشات ومضخة مياه ومحابس وعداد لقياس تصرف المياه. وقد بلغت المساحة التي تغطيها التجربة ٦٠ مترا مربعا بطول ١٢ متر وعرض ٥ أمتار. وقد تكونت شبكة توزيع المياه من خمسة أنابيب مصنوعة من الحديد المجلفن المانع للصدأ. وقد بلغ قطر الأنابيب ثلاثة أرباع البوصة و بطول ١٢ مترا. ويزود الشبكة بالمياه خط رئيس يتكون من أنبوب بلاستيكي قطره بوصة واحدة يخترق الشبكة من منتصفها مما يساعد على تشغيلها بكامل طولها أو بنصف طولها. ويحتوي الخط الرئيس المزود للشبكة بالمياه على خمسة مخارج كل منها موصل بخراطوم مرن قطره بوصة و مثبت بواسطة رباط يمكن فتحه أو غلقه مما يساعد على حرية اختيار عدد الخطوط التي تعمل في نفس الوقت (خط إلى خمسة خطوط) وهذه الخاصية مفيدة عند الحاجة في التحكم في الضغط داخل الشبكة أو عند عدم توفر كميات كبيرة من الماء لتشغيل جميع الخطوط بنفس الوقت. تم ربط الأنابيب الطولية بالهيكل المعدني الحامل للشبكة بأربطة مرنة يمكن فكها بسهولة وبالتالي تغيير المسافات البينية بين الأنابيب الطولية حسب الحاجة. ويقوم بتزويد الخط الرئيس بالمياه خطان من الأنابيب المرنة (بولي إيثيلين) قطر كل منهما بوصة واحدة. ويوضح الشكل (٧) الأنابيب والرشاشات التي تتكون منها الشبكة.

وقد تم تنقيب الأنابيب على مسافات بينية بلغت ٢٥ سم. وتم تثبيت وصلات بقطر نصف بوصة على كل من هذه الثقوب حيث تم تركيب الرشاشات على كل واحدة من هذه الوصلات. وتمتاز الرشاشات بإمكانية فتح و غلق فتحة الرشاش مما يعني أنه يمكن تشغيل الرشاشات على مسافات بينية مختلفة مثل ٢٥ سم ومضاعفاتها حسب متطلبات التجربة. وتضم الشبكة مضخة مياه بقدرة ثلاثة أحصنة وكذلك ثلاثة محابس للتحكم في مستوى ضغط المياه بالشبكة وبالتالي شدة الهطول من الرشاشات. إضافة إلى ذلك فقد تم تركيب خط راجع للمياه يقوم بالتخلص من الضغوط العالية عند الحاجة إلى ذلك. وثبتت الشبكة على ارتفاع متر واحد من سطح الأرض وذلك بتحميلها على هيكل معدنية من الأنابيب ذات قواعد متحركة. وتحتوي الشبكة كذلك على عداد لقياس تدفق المياه الداخلة للشبكة و ساعة لقياس ضغط المياه على خط المياه الرئيس بالشبكة. ويسمح تصميم الشبكة بسهولة التحكم في أبعاد الشبكة عن طريق تحريك الأنابيب وتغيير المسافات بينها وكذلك غلق وفتح الرشاشات وتتم تلك العمليات بطريقة يدوية سهلة ومرنة.



T1

T2

T3

T4

T5



T6

T7

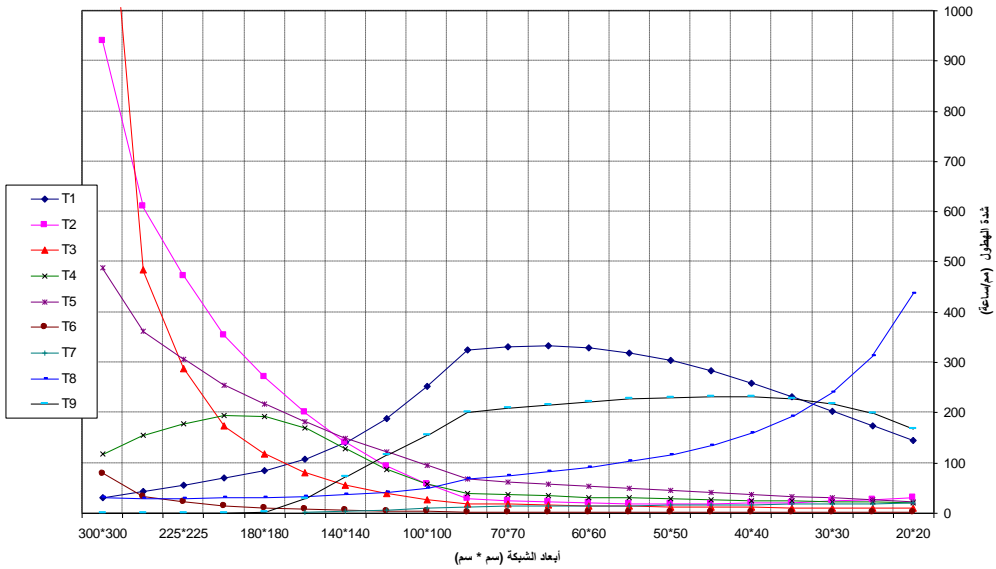
T8

T9

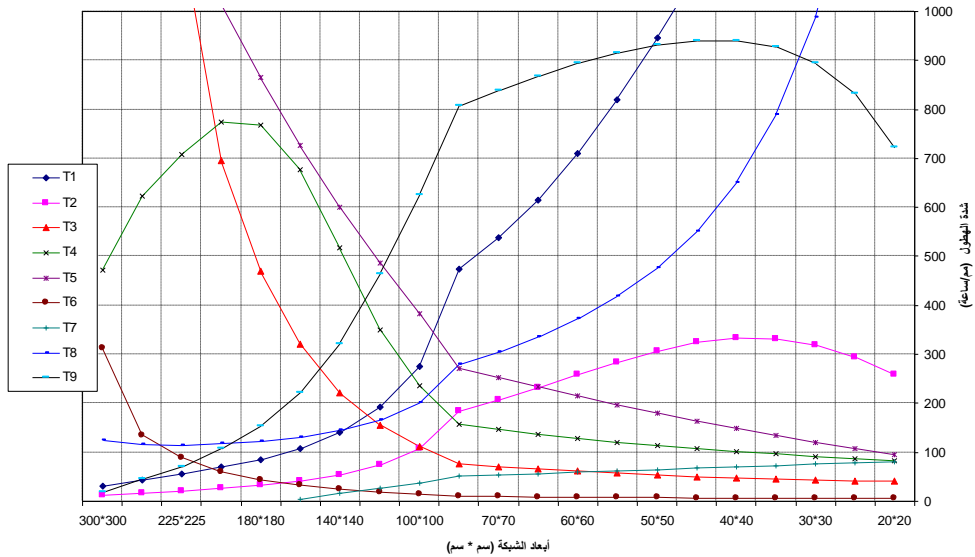
شكل (١) : أنواع الرشاشات التي تم اختبار مدى صلاحيتها لتمثيل المطر.



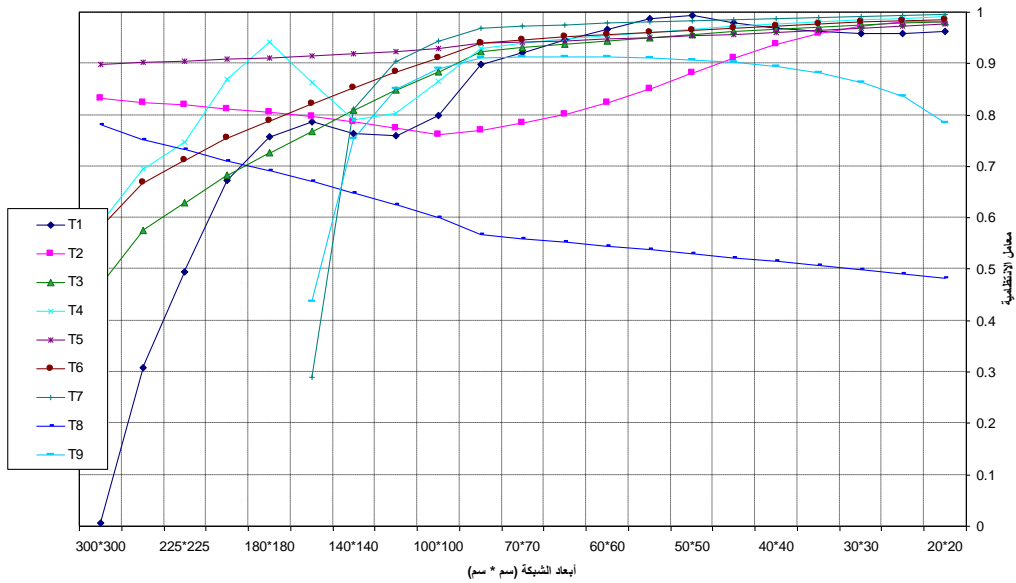
شكل (٢): الاختبار المبدئي للرشاشات.



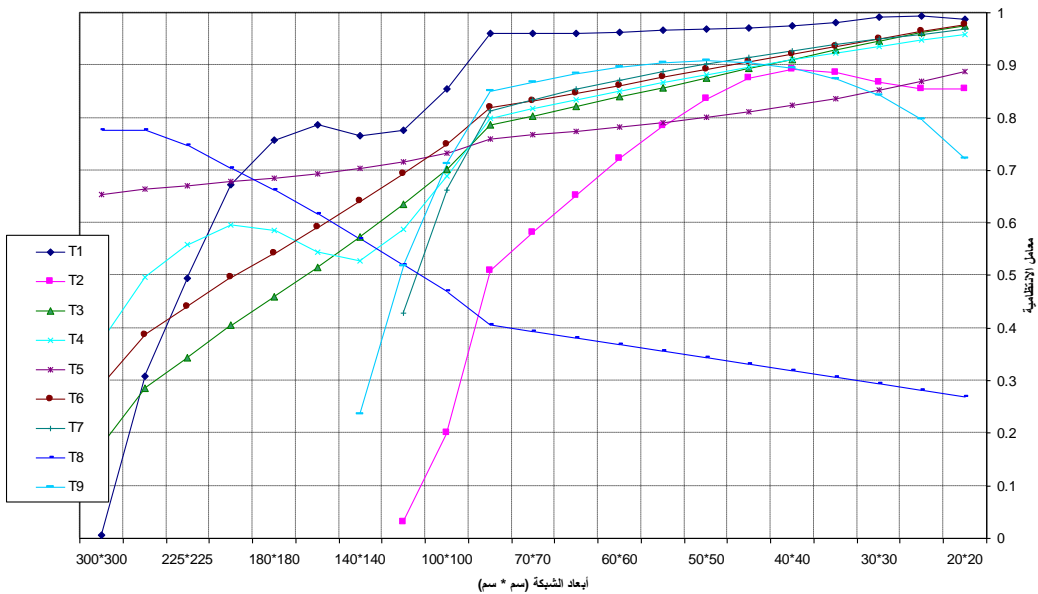
شكل (٣): شدة الهطول للرشاشات المختبرة عند التداخل بين أربع رشاشات.



شكل (٤): شدة الهطول للرشاشات المختبرة عند التداخل بين ١٦ من الرشاشات.



شكل (٥): معامل الانتظامية للرشاشات المختبرة عند التداخل بين أربع رشاشات.



شكل (٦): معامل الانتظامية للرشاشات المختبرة عند التداخل بين ١٦ من الرشاشات.



شكل (٧): شبكة تمثيل المطر.

الاستنتاجات

لقد نتج عن المسح الأدبي الذي تم إجرائه في الدراسة الحالية أن منطقة الشرق الأوسط بصفة عامة و العالم العربي بصفة خاصة تعاني من قلة الأبحاث المتعلقة بتصميم و تنفيذ و تشغيل شبكات تمثيل المطر. و تعد المناطق الجافة من أكثر مناطق العالم حاجة لمثل هذه الشبكات بل إن معظم دراسات شبكات تمثيل المطر السابقة أجريت بمناطق شبه جافة. و تتميز المناطق الجافة بقلة الأمطار الطبيعية بينما تحتاج الدراسات الهيدرولوجية و النماذج الرياضية المستخدمة بها عادة لعدد كبير من البيانات المتعلقة بالمطر و باقي عناصر الدورة الهيدرولوجية و هذا ما يمكن أن توفره لها التجارب التي تستخدم فيها شبكات تمثيل المطر. و بذلك تعد الدراسة الحالية رائدة في مجالها خاصة بالمملكة العربية السعودية و العالم العربي.

وتميزت شبكة تمثيل المطر المنتجة بالدراسة الحالية بأنها تغطي مساحة تعد كبيرة نسبيا عند مقارنتها بالمساحات التي غطتها معظم الدراسات السابقة حيث بلغت المساحة التي غطتها

التجربة ٦٠ مترا مربعا مما يجعلها مناسبة لدراسات العلاقة بين المطر والسيول وكذلك دراسة التسرب و تتبع حركة المياه في التربة السطحية لمنطقة الدراسة. كما تتميز الشبكة بأنها مصممة للدراسات الحقلية على التربة الطبيعية وليست للدراسات المعملية على تربة يتم نقلها من الحقل للمعمل. وتتميز الشبكة كذلك بالمرونة حيث يمكن تغيير المساحة التي تغطيها الشبكة وكذلك يمكن كما أن الشبكة ميمكن تحريكها بسهولة وبذلك يمكن إجراء التجارب بمناطق مختلفة بالحقل. أما فيما يتعلق بالكلفة الاقتصادية فلقد تم تنفيذ الشبكة باستخدام مواد متوفرة الأسواق المحلية مما جعل الكلفة منخفضة مقارنة باستيراد شبكة تمثيل المطر من الخارج ذات التكلفة العالية والتي تغطي عادة مساحات صغيرة ومخصصة للتجارب المعملية.

وتوصي الدراسة الحالية بالتوسع في الأبحاث المتعلقة باستخدام شبكات تمثيل المطر في دراسة العمليات الهيدرولوجية وانجراف التربة بالأودية في المملكة العربية السعودية حيث يعاني الباحثون من عدم توفر البيانات التفصيلية للأمطار مثل مدة وشدة الهطول المطري بينما يمكن استخدام شبكات تمثيل المطر لإنتاج أمطار صناعية يتحكم الباحث في خصائصها ويقوم بدراسة العمليات الهيدرولوجية الناتجة عنها.

شكر وتقدير: يتقدم الباحثان بالشكر والتقدير لمقام أمانة منطقة مكة المكرمة على توفير الدعم المادي والمساعدة الإدارية للدراسة التي كانت ضمن مشروع إعمار عين زبيدة المدعم من قبل الأمانة.

المراجع

- Blanquies, J., Scharff, M., and Hallock, B. (2003).**The design and construction of a rainfall simulator. Paper presented at the International Erosion Control Association (IECA), 34th Annual Conference and Expo., Las Vegas, Nevada, February 24-28, 2003.
- Grierson, T. and J. M. Oades, 1977,** A rainfall simulator for field studies of run-off and soil erosion, Journal of Agricultural Engineering Research, 22(1): 37-44.
- Munster, C. L., Taucer, P. I., Wilcox, B. P., Porter, S. C. and Richards, C. E., 2006,** An Approach for Simulating Rainfall Above the Tree canopy at the Hillslope Scale, Transaction of American Society of Agricultural and Biological Engineers, 49(4), 915-924.
- Navas A., F. Alberto, J. Machín and A. Galán, 1990,** Design and operation of a rainfall simulator for field studies of runoff and soil erosion, 3(4), 385-397

Smith, S.A.; Schreiber, J.D. 1993, Design of a programmable rainfall simulator, System Theory, Proceedings SSST, Twenty-Fifth Southeastern Symposium on, 7-9 Mar 1993, 215 – 217.

Thomas, N. P. and S. A. EL Swaify, 1989, Construction and Calibration of a Rainfall Simulator, Journal of Agricultural Engineering Research, 43: 1-9.

Tongpummuk, S., Cherdchanpipat, N and Yoosamran, R., 2008, Development of Rainfall Simulator, Kamphaengsean Acad. J. , Vol. 6 No. 1 , 19-31.

ENGLISH SUMMARY

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A RAINFALL SIMULATOR

Mohamed E. Kiwan¹ and Abdullah S. Al-Wagdany

Rainfall simulators are helpful tools used to study hydrologic and erosion processes. Rainfall simulations researches are very rare in the Middle East region. In this research, an artificial rainfall simulator system has been developed to apply a controlled amount and rate of rainfall on a test plot located in an arid basin in western Saudi Arabia. The simulator is intended to investigate rainfall-runoff relationship, infiltration and soil moisture in the experimental plot. It consists of sprinklers, water reservoir, piping, flow meter, pump and valves. The simulator has 240 sprinklers mounted 25 cm apart on five 12-meter long pipes and it is carried out on a 1-meter height metallic frame. The sprinklers are selected from nine locally available sprinklers base on its performance in regard of range of rainfall intensity and values of uniformity coefficient of rainfall produced by the sprinklers network. The designed rainfall simulator cover a large area compared to areas covered by most of previously designed simulators and its cost was moderate since its constructed from locally available materials.

Department of Irrigation and Hydraulics, College of Engineering, Cairo University
kiwanahmed@hotmail.com

² Faculty of Meteorology, Environment and Arid Land Agriculture, King Abdulaziz University, awagdani@kau.edu.sa