Misr J. Ag. Eng., 26(2): 726- 735 IRRIGATION AND DRAINAGE

تقدير عناصر الميزانية المائية لتجارب تمثيل المطر

عبدالله سعد الوقداني1 ، محمد الشربيني كيوان 2

المستخلص

توفر أجهزة تمثيل المطر الكثير من البيانات المتعلقة بالعمليات الهيدرولوجية وذلك خلال فترة قصيرة بدلا من الانتظار لفترات طويلة لجمع تلك البيانات عند حصول الأمطار الطبيعية كما أنها أقل تكلفة خصوصا في المناطق شبه الجافة التي تقل فيها الأمطار الطبيعية وكذلك البيانات الهيدرولوجية. وعلى الرغم من انتشار تطبيقات أجهزة تمثيل المطر في العديد من مناطق العالم إلا أن استخداماتها في العالم العربي نادرة جدا وتعد الدراسة الحالية من أوائل الأبحاث الحقلية في هذا المجال بتلك المنطقة من العالم. وقد تم في الدراسة الحالية استخدام شبكة لتمثيل المطر مصنوعة من مواد متوفرة محليا للقيام بتقدير قيم السيل و التسرب الناتج عن ست تجارب لتمثيل المطر أجريت بمنطقة تقع ضمن المجرى الرئيس لوادي نعمان جنوب شرق مدينة مكة المكرمة. وقد بينت نتائج التجارب أن قيم حجم السيل الناتج عن الأمطار ذات الخصائص المختلفة التي أنتجتها شبكة تمثيل المطر تعتمد على قيم شدة هطول المطر بصورة رئيسة ويليها في الأهمية قيم مدة الهطول. وقد كانت نتائج التجارب مشجعة على الاستمرار في مثل هذه الدراسات و بالتالي فإن الدراسة توصي بالتوسع في استخدام شبكات تمثيل المطر في الدراسات الحقلية الهيدرولوجية في منطقة الدراسة وغيرها من المناطق شبه الجافة بالعالم العربي.

المقدمة

يواجه الباحثون الهيدرولوجيون صعوبات تتعلق بتقدير خصائص الأمطار وباقي عناصر الدورة الهيدرولوجية المرتبطة بها خصوصا بالمناطق شبه الجافة ويعود ذلك لطبيعة الأمطار شديدة التغير زمانيا ومكانيا بتلك المناطق. كما أن الأمطار نادرة بالمناطق شبه الجافة حيث تسجل أجهزة قياس الأمطار عددا قليلا من العواصف المطيرة ولا يتوفر عادة قياسات لباقي عناصر الدورة الهيدرولوجية نظرا للكلفة العالية لأجهزة القياس وصيانتها مقابل الحصول على عدد محدود من القياسات. و توفر أجهزة تمثيل المطر بديلا يسمح بقياس الأمطار و باقي عناصر الدورة الهيدرولوجية خلال فترة قصيرة يمكن التحكم بها. وقد استعرض الباحث (Meyer, 1988) مميزات استخدام أجهزة تمثيل المطر بديلا للأمطار الطبيعية حيث ذكر أنها تتميز بإمكانية التحكم في التجربة وإمكانية إعادة التجربة و توفيرها للوقت. وقد أضاف الباحث (Renard, 1985) إلى مميزات أجهزة المطر الصناعي أنها توفر التكاليف في الدراسات مقارنة بالتجارب الهيدرولوجية طويلة الأمد التي تعتمد على الأمطار الطبيعية. وقد أشار الباحث (Wilcox et al., 1986) إلى أن استخدام أجهزة تمثيل المطر ضروري لدراسة الخصائص الهيدرولوجية بالمناطق الجافة وشبه الجافة

1 قسم علوم وإدارة موارد المياه –كلية الأرصاد والبيئة وزراعة المناطق الجافة – جامعة الملك عبدالعزيز
ص. ب 80208 جدة 21589 بريد اليكتروني awagdani@kau.edu.sa
2 **قسم الري والهيدروليكا- كلية الهندسة- جامعة القاهرة - بريد الكتروني** kiwanahmed@hotmail.com

نظرا لندرة الأمطار بها. لقد تم استخدام وتطوير أجهزة تمثيل المطر منذ الثلاثينات من القرن الماضي لدراسة انجراف التربة بوسط غرب و جنوب وسط الولايات المتحدة الأمريكية (Williams, et al., 1996). وقد انتشر استخدام أجهزة تمثيل المطر لدراسة العمليات الهيدرولوجية في مختلف مناطق العالم نظرا لما تتميز به من كلفة اقتصادية رخيصة نسبيا مقابل الحصول على الكثير من البيانات الخاصة بمختلف العمليات الهيدرولوجية. فقد استخدم الباحثان (Dolan and Marston, 1988) جهازا لتمثيل المطر بحوض جاف يقع بوسط ولاية وايمنج الأمريكية لدراسة السيل والرسوبيات العالقة به وخلص إلى أن قيم معدل السيل و انجراف التربة مرتبطة بكل من كثافة الغطاء النباتي و ميل المجاري و قوام التربة. كما استخدم الباحثان (Eldridge and Rothon, 1992) جهازا لتمثيل المطر لإجراء عدد من التجارب لدراسة السيول و فقد التربة بمنطقة شبه جافة باستراليا وخلصا إلى أن دراسة صفات التربة و الغطاء النباتي لم يساهما كثيرا في شرح التغير في تقدير كمية السيول و الرواسب المحمولة بها. وقد استخدم الباحث (Al-Houri, 2008) جهازا لتمثيل المطر بهدف استنباط طريقة جديدة لتقدير الفواقد الابتدائية (initial abstraction term) في طريقة SCS-CN خلال العواصف الثلجية.

وتعد منطقة الحوض التجريبي الواقع بمنطقة شبه جافة بجنوب شرق ولاية أريزونا الأمريكية المعروفة بإسم Walnut Gulch من أكثر المناطق بالعالم التي أجريت بها تجارب تمثيل المطر. فقد أجرى الباحثون (Abrahams, et al., 1988) تجارب لتمثيل المطر بستة مواقع صحراوية متدرجة الميول بالمنطقة بغرض دراسة الاستجابة الهيدرولوجية و حركة الرسوبيات وقد خلصت الدراسة إلى أن السيول بالمناطق شديدة الانحدار فشلت في الوصول إلى مرحلة الاتزان على الرغم من استمرار التجارب لأربعين دقيقة وأن السيول كانت لا تعتمد على تغير الميل في المناطق التي كانت ميولها أقل من 12 درجة. أما فيما يتعلق بتركيز الرواسب فقد خلصت التجارب إلى تفاوت بين التجارب حيث كان تركيز الرواسب لقسم من التجارب يزيد مع الزمن و يتناسب طرديا مع تدفق السيل بينما كان النتيجة على العكس تماما في التجارب الأخرى. وقد درس الباحثون (Abrahams, et al., 1995) بتلك المنطقة أثر تغير الغطاء النباتي على السيول وانجراف التربة عن طريق إجراء تجارب تمثيل المطر ووجدوا أن تغير الغطاء النباتي قد أثر على كل من السيول و انجراف التربة بالمنطقة حيث قلت المقاومة للجريان السطحي وقل التسرب .كما أجرى الباحثون (Stone et al., 2008) 19تجربة تمثيل المطر بمنطقة التجارب Walnut Gulch لدراسة اثر تغير شدة المطر على تسرب المياه خلال التربة واستنتجوا أن معدل التسرب كان يزداد مع الزمن عند زيادة شدة المطر بدلا من أن ينخفض كما تتوقع معظم معادلات التسرب التي تفترض أن التسرب يتناقص مع الزمن.كما لاحظ الباحثون أن زمن بداية تكون السيل كان يتأثر بشدة المطر أكثر من تأثره برطوبة التربة الابتدائية.

وقد تم في الدراسة الحالية استخدام شبكة لتمثيل المطر تم تصميمها من قبل الفريق البحثي للدراسة الحالية (Al-Wagdany and Kiwan, 2008) و تغطي الشبكة مساحة 60 مترا مربعا و تعتبر هذه الشبكة كبيرة عند مقارنتها بمعظم الدراسات السابقة التي كانت تغطي عادة مساحات صغيرة لا تتجاوز عددا قليلا من الأمتار المربعة (Munster et al., 2006). وقد بين

الباحث (Wilcox, 1995) أن أجهزة تمثيل المطر التي تغطي مساحات صغيرة محدودة الفائدة عند الرغبة في فهم العمليات الهيدرولوجية والتداخلات التي تحدث بين تلك العمليات. وقد استخدمت شبكة تمثيل المطر بالدراسة الحالية لتنفيذ ست تجارب بغرض الحصول على نتائج أولية تبين ميزة استخدام شبكات تمثيل المطر في تقدير مختلف العناصر الهيدرولوجية الناتجة عن الهطول الذي حدث بواسطة الشبكة. وقد تم تقدير كل من عمق الهطول وشدته و مدته وكذلك التغير في رطوبة التربة و حجم السيل لكل واحدة من تلك التجارب.

طرق ومواد الدراسة

لقد تضمنت الأعمال التي تمت في الدراسة الحالية إعداد الموقع للتجربة عن طريق تسوية الأرض و وتحديد اتجاه الميول بحيث يتجه الجريان لمخرج الموقع الذي يقاس عنده السيل. كما تم إعداد التجهيزات لقياس الهطول الناتج عن جهاز تمثيل المطر وتهيئة مخرج للسيل من موقع التجربة وأخيرا تم إجراء ستة تجارب استخدم فيها شبكة تمثيل المطر وتم قياس عناصر الموازنة المائية لكل تجربة . وقد تم استخدام طريقة التجفيف بالفرن لتقدير رطوبة التربة قبل وبعد التجارب.

لقد تم اختيار مكان التجارب ليكون بوادي نعمان بجوار مبنى مشروع اعمار عين زبيدة ويتميز الموقع بأنه منطقة طبيعية تقع ضمن المجرى الرئيس للوادي. كما أن وجود المبنى بالقرب من موقع التجربة أعطى ميزة أنه يمكن استخدام خزان المياه التابع للمبنى لتزويد التجربة بالمياه وكذلك تمت الاستفادة من توفر الكهرباء بالمبنى في تشغيل مضخة المياه الخاصة بشبكة تمثيل المطر. وقد تم تمهيد سطح التربة بموقع التجربة بحيث يكون الميل باتجاه المنطقة التي ستكون مخرج مياه السيل الناتج عن الهطول. وتمهيدا لإجراء التجارب فقد تم تركيب شبكة تمثيل المطر بموقع الدراسة. و يعرض الشكل (1) صورة توضح شبكة تمثيل المطر و باقي تجهيزات التجربة أثناء إجراء إحدى تجارب تمثيل المطر بمنطقة الدراسة. كذلك تم تثبيت أنبوب بلاستيكي (مشقوق إلى نصفين) بقطر 4 بوصات في منطقة المخرج ليقوم بتجميع مياه السيل وتوجيهها إلى حفرة بها وعاء لقياس حجم مياه السيل الناتج كما هو موضح بالشكل (2). ولمنع الجريان السطحي على الجوانب من الموقع فقد تم رفع التربة في الحواف الجانبية لموقع التجربة. وبذلك أصبح الموقع مهيأ لإجراء تجارب المطر الصناعي.

وقد تم قياس عمق الهطول بموقع التجربة بواسطة علب معدنية قطر كل منها 10 سم وارتفاعها 14 سم. وقد استخدمت 100 علبة من هذا النوع في التجارب حيث استخدمت على مسافات بينية مختلفة كل 50 سم وكل 75 سم وكل متر حسب متطلبات التجربة. ويوضح الشكل (1) أحد توزيعات علب قياس الهطول بموقع التجربة. وقد استخدم مخبار مدرج لقياس حجم الماء المتجمع في كل علبة ثم حساب عمق الهطول بقسمة حجم الهطول على مساحة قاعدة العلبة.

يتطلب تقدير عناصر الموازنة المائية لتجارب الهطول تقدير الرطوبة التربة قبل وبعد التجربة. و يمكن قياس رطوبة التربة وعلى أعماق مختلفة بطريقة مباشرة باستخدام طريقة التجفيف والوزن أو بطريقة غير مباشرة باستخدام مجسات يتم تحويل قراءاتها إلى قيم رطوبة التربة عن طريق المعايرة. وتتميز طريقة تجفيف التربة في الفرن بكونها تقيس الرطوبة بصوره مباشرة و يعيبها أنها تستهلك الكثير من الجهد والوقت وغير عملية عند تكرر التجارب أو عند حصول مطر طبيعي حيث تستلزم وجود شخص فني بصورة دائمة لأخذ العينات عن طريق الحفار وإجراء الوزن والتجفيف كما أنها تعطي النتيجة للحظة واحدة ويلزم الحصول على قيم متغيرة مع الزمن إجراء عدد كبير من القياسات غير ممكنة من الناحية العملية.

وتتميز طريقة قياس رطوبة التربة بواسطة مجسات رطوبة التربة بأنها مناسبة من الناحية العملية حيث يمكن تثبيتها وتركها موصلة بخازن البيانات للحصول على قيم الرطوبة لفترات زمنية تمتد لأيام في حال قيامها بتخزين القيم كل 5 أو عشر دقائق وتصل تلك الفترات إلى شهر في حال قيامها بتخزين القيم كل ساعة أو ساعتين على سبيل المثال. ويعيب المجسات أنها تقوم بقياس رطوبة التربة بصورة غير مباشرة ويمكن التغلب على ذلك بمعايرة قراءات المجسات مع القياسات عن طريق التجفيف بالفرن لنفس العينات.

ولقد تم في الدراسة الحالية استخدام طريقة التجفيف و الوزن في التجارب حيث تم استخدام الحفار اليدوي لأخذ عينات التربة من أعماق مختلفة ووزنها ثم تجفيفها في الفرن ووزنها مرة أخرى بعد التجفيف ومن ثم تقدير حجم الرطوبة (الماء) بها ومنه يتم حساب نسبة الرطوبة في عينة التربة.

لقد تم القيام بستة من التجارب المبدئية في موقع تجربة المطر الصناعي للوقوف على أداء الرشاشات و مضخة المياه وأخذ فكرة مبدئية عن معدلات الهطول من الرشاشات قيم الجريان السطحي وتغيرات رطوبة التربة. ويبين الشكل (1) صورة أخذت أثناء إجراء إحدى التجارب. وقد تضمنت تلك التجارب قياس عمق الهطول باستخدام علب قياس الهطول وتسجيل قراءة عداد المياه قبل بدء التجربة و عند نهايتها وذلك بهدف قياس حجم المياه المستخدمة في التجربة واستخدام ساعة إيقاف لتسجيل زمن بداية التجربة ونهايتها و قياس حجم مياه السيل المتجمعة عن طريق أنبوب تجميع السيل. وكذلك تقدير قيم رطوبة التربة قبل وبعد إجراء التجربة. وقد اختلفت المسافات البينية بين التجارب من تجربة إلى أخرى حيث تم تغيير المسافة البينية ما بين الرشاشات وذلك على مسافات 50 سم و 75 سم و 100 سم. كما تم تغيير عدد الخطوط الطولية للتجربة من 5 خطوط إلى 4 خطوط.

شكل (1): صورة لشبكة تمثيل المطر وتجهيزات التجارب.

شكل (2): صورة لأنبوب جمع السيل بمخرج موقع التجربة.

النتائج والمناقشة

لقد أجريت ست تجارب لتقويم عمل الرشاشات وباقي التجهيزات المتعلقة بالتجربة وتم تسجيل العناصر الهامة المتعلقة بالتجربة مثل عمق و شدة الهطول وزمنه وحجم السيل الناتج. وقد تراوحت مدة التجارب بين 3 دقائق و 26 دقيقة وكان عمق الهطول بين 13 و 124 مم. بينما تراوحت شدة الهطول بين 164 مم/ساعة و 298 مم/ساعة وهي قيم عالية لشدة المطر نتج عن ثلاث منها سيول بموقع التجربة وكانت أعلى قيمة لمعامل السيل حوالي 28% في التجربة الأولى.ومما هو جدير بالذكر أن معدلات التساقط المحاكاة في هذة التجارب كانت اكبر من معدلات التشرب السطحي المقاسة للتربة السطحية للموقع والتي تراوحن قيمها من 35 و 20 مم/ق حيث كان نوع قوام التربة رملي . ويوضح الجدول (1) قيم أهم العناصر المتعلقة بتجارب تمثيل المطر. و يبين الجدول قيم معامل الانتظامية الذي يوضح مدى انتظامية عمق الهطول على المساحة التي أجريت عليها التجربة. وقد تراوحت قيم معامل الانتظامية بين 0.45 و 0.82. وقد تم تقدير حجم الماء المتسرب داخل التربة بطرح حجم السيل من حجم الهطول. و فيما يتعلق بالتجربتين الأولى والثانية فقد تم التحقق من قيم حجم المياه المتسربة بالتربة عن طريق أخذ عينات من التربة قبل بداية التجربة و بعد نهاية التجربة مباشرة من عشر قطاعات رأسية (كل 10 سم) ومن ثم حساب الرطوبة لكل قطاع بطريقة التجفيف والوزن. ويلاحظ أن الفرق في قيم حجم التسرب المحسوب بطريقة الميزانية المائية وحجم الماء المخزن بالتربة المقدر من قيم رطوبة التربة طفيف. وبناءً على هذه النتيجة فإنه لم يعد هناك حاجة لأخذ عينات من التربة لاستخدامها في تقدير رطوبة التربة عند إجراء باقي التجارب حيث إن طريقة الميزانية المائية تعطي نتيجة مقاربة لتلك التي تعطيها طريقة تقدير الرطوبة عن طريق الوزن والتجفيف. و يمكن أن يعزى الاختلاف في تقدير حجم المياه بالتربة بين الطريقتين إلى أن درجة الدقة المستخدمة في تقدير حجم السيل ليست عالية و لوجود بعض المياه التي تسربت خارج المساحة المخصصة للتجربة على حواف المنطقة أو عند منطقة مخرج السيل

و عند مقارنة نتائج التجارب مع بعضها فإنه يمكن استنتاج العوامل المؤثرة على عملية حدوث السيل وتأثيرها في حجمه ونسبة الأمطار التي تتحول إلى سيل بمنطقة التجارب حيث قوام التربة رملي ومعدلات التساقط الممثلة اكبر من معدلات التشرب السطحي في تجارب وكانت اقل منها في حالات اخري. يتبين من القيم بالجدول (1) أن عمق االهطول كان متساويا تقريبا بين التجربتين الثانية والخامسة ولكن نتج عن التجربة الثانية سيل بلغت نسبته 13% من المطر الذي هطل في التجربة بينما لم ينتج سيل عن التجربة الخامسة. و يمكن تفسير ذلك عند مقارنة مدة الهطول للتجربتين حيث استغرقت التجربة الخامسة 26 دقيقة بينما كانت مدة التجربة الثانية أقل منها بسبع دقائق مما أدى إلى أن تكون شدة الهطول بالتجربة الثانية أعلى بمقدار 60 مم/ساعة وبالتالي تسبب في حدوث السيل بتلك التجربة. ويتضح من هذه المقارنة أن شدة الهطول كانت العامل الرئيس الذي تحكم في عملية حدوث السيل من التجربة. و يتأكد ذلك عند مقارنة نتائج التجربتين الأولى و الخامسة حيث استغرق وقت الهطول بالتجربة الخامسة 26 دقيقة بزيادة دقيقة واحدة عن مدة الهطول بالتجربة الأولى ولكن نتج عن التجربة الأولى سيل بلغ حوالي 28% من

المطر الذي هطل خلال التجربة بينما لم ينتج سيل عن الهطول المطري بالتجربة الخامسة. ويعود ذلك إلى أن قيمة شدة الهطول للتجربة الخامسة بغلت حوالي 57% من قيمة شدة الهطول بالتجربة الأولى.

جدول (1): أهم العناصر المقاسة لتجارب تمثيل المطر.

العنصر	التجربة الأولى	التجربة الثانية	التجربة الثالثة	التجربة الرابعة	التجربة الخامسة	التجربة السادسة
زمن التجربة (دقيقة)	25	19	10	3	26	14
المسافة البينية بين الرشاشات (سم)	50	75	75	100	75*100	100
مساحة الهطول($م^2$)	24	36	27	36	36	48
عمق الهطول (مم)	124	73	44.3	12.5	73.5	38.2
معامل الانتظامية للهطول	0.79	0.62	0.75	0.82	0.56	0.45
شدة الهطول (مم/ساعة)	298	230	266	250	170	164
حجم الهطول ($م^3$)	2.98	2.63	1.20	0.45	2.65	1.83
حجم السيل ($م^3$)	0.822	0.348	0.003	0	0	0
حجم التسرب ($م^3$)	2.15	2.28	1.19	0.45	2.65	1.83
معامل السيل	0.28	0.13	0.003	0	0	0
حجم الماء المخزن بالتربة ($م^3$)	1.97	2.32	-	-	-	-

وقد كانت مدة الهطول هي العامل الثاني من حيث أثره على عملية حدوث السيل ويتضح ذلك عند مقارنة نتائج التجربتين الثانية والرابعة حيث أن شدة الهطول كانت متقاربة بين التجربتين و لكن كانت مدة الهطول بالتجربة الثانية أكثر من ستة أضعاف مدة الهطول بالتجربة الرابعة مما نتج عنه حدوث السيل بالتجربة الثانية وعدم حدوثه بالتجربة الرابعة. وعموما يمكن الاستنتاج مبدئيا أن عندما تكون شدة الهطول أكبر من 200 مم/ساعة فإن السيول تحدث بمنطقة التجربة خلال مدة قصيرة من بداية المطر و يلاحظ ذلك بوضوح في نتائج التجربة الثالثة حيث سجلت التجربة حدوث سيل على الرغم أن مدة المطر كانت عشر دقائق فقط.

وقد اتضح من القيم بالجدول (1) أن قيم معامل الانتظامية للهطول تزيد كلما زادت شدة الهطول أي هناك تناسبا طرديا بين القيمتين. و للتأكد من ذلك الاستنتاج فقد تم حساب قيمة معامل الارتباط لقيم المتغيرين الموضحة بالجدول و قد كان معامل الارتباط بين القيمتين عاليا نسبيا حيث بلغ حوالي 82% .

الاستنتاجات

لقد أتضح من مراجعة الأبحاث السابقة المنشورة في مجال استخدام أجهزة تمثيل المطر بالحقل أن الدراسة الحالية يمكن أن تعد من أوائل الأبحاث بل لعلها الأولى في هذا المجال بالمملكة العربية بصفة خاصة و العالم العربي بصفة عامة. فقد تم استخدام شبكة لتمثيل المطر مصنوعة محليا في إجراء ست تجارب لتمثيل المطر بالمجرى الرئيس لوادي نعمان الواقع جنوب شرق مدينة مكة المكرمة. و تم في الدراسة الحصول على تقديرات أولية لقيم السيول و التسرب الناتجين عن الهطول المطري بمنطقة الدراسة.

وأوضحت نتائج الدراسة أن معظم المطر الهاطل يتسرب من خلال الطبقة السطحية للتربة إلا عندما تكون الأمطار ذات شدة عالية تتجاوز 200مم/ساعة و تستغرق وقتا أطول من 10 دقائق. و قد استنتجت الدراسة أن قيم شدة المطر كانت هي العنصر الرئيس الذي يتحكم في حدوث السيول بمنطقة الدراسة ويليها في التأثير قيم مدة الهطول. كما بينت الدراسة أن معامل الانتظامية للهطول يتناقص عندما تقل قيمة شدة الهطول و بالتالي فعندما تكون شدة الهطول أقل من 160 مم/ساعة فإن قيمة معامل الانتظامية تكون أقل من 50% مما يعني أن الهطول على منطقة التجربة يصبح غير منتظم مما يقد يؤثر على نتائج التجارب إذا كانت تفترض أن الهطول منتظم على منطقة الدراسة.

لقد كانت النتائج المبدئية لتجارب تمثيل المطر مشجعة لذلك فإن الدراسة توصي بالتوسع في إجراء المزيد من هذه التجارب الحقلية في المنطقة الحالية وغيرها من المناطق بالعالم العربي نظرا لما توفره من بيانات متعلقة بالعمليات الهيدرولوجية يصعب الحصول عليها خصوصا بالمناطق شبة الجافة التي تغطي معظم مساحة العالم العربي.

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

المراجع

Abrahams, A. D., Parsons A. J. and Wainwright, J., 1995, Effects of vegetation change on interrill runoff and erosion, Walnut Gulch, southern Arizona, Geomorphology, 13(1-4), 37-48.

Abrahams, A. D., Parsons A. J. and Luk, S., 1988, Hydrologic and sediment responses to simulated rainfall on desert hillslopes in southern Arizona, CATENA, 15(2), 103-117.

AL-Houri, Z. M., 2008, Modifications On The Existing Design Parameters To Improve The Performance Of Infiltration Treatment

BMPS In Cold Climates, Unpublished Ph.D. Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Washington State University, USA.

Al-Wagdany, A. S. and Kiwan, M. E., 2008, Design and Construction of a Rainfall Simulator, submitted for publication.

Dolan, L. and Marston, R., 1988, Factors Influencing Rainsplash Erosion And Runoff In an Arid Watershed, Proceedings of Water and the West: A Symposium on Water Resources and Related Issues, 137-142.

Eldridge, D. J. and J. Rothon, 1992, Runoff and Sediment Yield From a Semi-Arid Woodland in Eastern Australia. 1. The Effect of Pasture Type. The Rangeland Journal 14(1) 26 – 39

Meyer, L. D. 1988. Rainfall simulators for soil conservation research. In Soil Erosion Research Methods, 75-96. R. Lal, ed. Ankeny, Iowa: Soil and Water Conservation Society.

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 Hilslope Scale, Transaction of American Society of Agricultural and Biological Engineers, 49(4), 915-924.

Renard, K. G. 1985. Rainfall simulators and USDA erosion research: History, perspective, and future. In Proc. Rainfall Simulator Workshop, 3-6. Wheat Ridge, Colo.: Society of RangeManagement.

Stone, J. J. , Paige G. B and Hawkins R H., 2008, Rainfall Intensity-Dependent Infiltration Rates On Rangeland Rainfall Simulator Plots, Transactions of the ASABE **,** 51(1) , 45-53.

Wilcox, B.P., Wood, M,K., Tromble, J.T., and Ward, T.J., 1986, A hand-portable single nozzle rainfall simulator designed for use on steep slopes, Journal of Range Management, 39 (4).

Wilcox, B. P., M. K. Wood, and J. M. Tromble. 1988. Factors influencing infiltrability of semiarid mountain slopes. J. Range Mgmt. 41(3): 197-206.

Williams, J. D., Wilkins, D. E., McCool, D. K., Baarstad, L. L., Klepper B. L. and Papendick, R. I, 1996, The Pacific Northwest Rainfall Simulator: A Research Tool For The Interior Northwest, Columbia Basin Agricultural Research Annual Report, Agricultural Experiment Station, Oregon State University, USA.

ENGLISH SUMMARY

ESTIMATION OF WATER BALANCE ELEMENTS OF RAINFALL SIMULATION EXPERIMENTS

Abdullah S. Al-Wagdany and Mohammed S. Kiwan

Rainfall simulation is an easy and relatively cheap method to get remarkable amount of hydrological data within short period of time instead of depending on a very rare natural rainfall particularly in arid regions. This technique was largely utilized in different parts of the worlds especially in arid and semiarid regions. However, research and applications of rainfall simulators are very rare in the Arab World. This study is probably one of the earliest applications of rainfall simulators in this part of the world. The study location is an experimental plot within the main stream of Namman basin located in the south east of Makkah city in western Saudi Arabia. In this study, six rainfall simulation experiments are conducted using rainfall simulator which has been developed from locally available materials. The experiments provided values of runoff and infiltration volumes resulted from simulated rainfall events which have varied characteristics. The results of the study indicated that values of runoff volume mainly depend on values of rainfall intensity and then on values of rainfall duration. The results of the study are promising and it is recommended to conduct more rainfall simulation experiments on the study region and on other semi arid regions in the Arab World.

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

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