

تقدير معدلات التبخر المباشر من التربة السطحية

بوادي نعمان

عبدالله سعد الوقداني

قسم علوم وإدارة موارد المياه - كلية الأرصاء والبيئة وزراعة المناطق الجافة

جامعة الملك عبدالعزيز، جدة - المملكة العربية السعودية

awagdani@kau.edu.sa

المستخلص. تم في الدراسة الحالية استخدام جهاز ليسيتر تصريفي بغرض تقدير التبخر المباشر من التربة السطحية بوادي نعمان الواقع جنوب شرق مدينة مكة المكرمة. واستخدمت تربة رملية بعمق متر واحد لتعبئة الليسيتر وكانت مدة التجربة ٢٦ يوما متتابعة وأجريت على ثلاثة مراحل تم تزويد التجربة فيها بكميات مختلفة من المياه. وتم قياس كل من تغير المحتوى الرطوبي لطبقات التربة وكذلك المياه المنصرفة من الليسيتر إضافة إلى المياه الداخلة للتربة التي تمثل الأمطار والسيول التي تحدث بمنطقة الدراسة. كما تم تقدير التبخر المباشر من التربة عن طريق تطبيق معادلة الميزانية المائية للتربة الموجودة داخل الليسيتر. وأشارت نتائج الدراسة إلى أن قيم التبخر تكون كبيرة في الأيام الأولى التي تلي تزويد التربة بالمياه ثم تتناقص حتى تتلاشى تقريبا بعد ثمانية أيام. وكان معدل التبخر اليومي من سطح التربة حوالي نصف

سنتيمتر. و اختلفت قيم التبخر بين مراحل التجربة الثلاث ولكنها أخذت توزيعاً زمنياً متشابهاً أمكن تمثيله بعلاقة رياضية غير خطية ذات متغيرين هما عمق المياه التي تزود بها التربة والزمن. وأشارت نتائج الدراسة إلى أنه عندما يكون عمق المياه التي تزود بها التجربة ٥ سنتيمترات أو أقل فإن معظم المياه تتبخر خلال ثمانية أيام بينما يتبخر خلال نفس المدة أقل من ثلث المياه عندما يكون عمق المياه المتوفرة للتربة خمسة عشر سنتيمتراً. التجربة الحالية ممثلة للتبخر المباشر من تربة رملية عمقها متر واحد أثناء فصل الشتاء، وهناك حاجة لإجراء المزيد من التجارب لتمثيل فصول السنة الأخرى وكذلك أنواع التربة الأخرى بمنطقة الدراسة.

الكلمات الدالة: التبخر - وادي نعمان - ليسيمتر.

١ - مقدمة

يعتبر تقدير التبخر المباشر من التربة السطحية هاماً جداً في الدراسات الهيدرولوجية للأودية، وخصوصاً تلك المتعلقة بالموازنة المائية. وتكمن أهمية الطبقة السطحية من التربة في أنها تتحكم في أهم العمليات الهيدرولوجية، مثل عملية تسرب المياه للطبقات السفلى من التربة، وبالتالي تغذية المياه الجوفية، وكذلك عملية تراكم المياه السطحية وجريان السيول على سطح التربة. فعند هطول الأمطار على الوادي فإن معظم مياه المطر تتسرب خلال التربة السطحية ويتبعها تسرب لمياه السيول خلال الساعات القليلة التالية للهطول. ويعود ذلك لأن معظم أودية الجزيرة العربية تغطي مجاريها الرئيسية بالرمال، والتي تتميز بالمسامية العالية، ويضاف إلى ذلك أن مدة المطر قصيرة في العادة وعمق الهطول ليس بالكبير. ونظراً لعدم وجود مياه على سطح التربة لفترات طويلة بعد الهطول، فإن التبخر من الطبقة السطحية للتربة يشكل جزءاً كبيراً من

الفوائد المائية، وعند تقديره فإنه يمكن حساب المياه التي ستساهم في تغذية المياه الجوفية باستخدام طريقة الموازنة المائية للمنطقة المدروسة. ويتم عادة تقدير التبخر عن طريق قياس التبخر الأقصى (potential evaporation) بواسطة أحواض التبخر، أو عن طريق المعادلات الرياضية التي تستخدم لحساب التبخر الأقصى، مثل طريقة بنمان والتي تعتمد على قيم العناصر المناخية مثل درجة الحرارة والإشعاع الشمسي وسرعة الرياح. وتعطي تلك الطرق قيما عالية تمثل أقصى تبخر ممكن حدوثه عند توفر الماء بكميات كبيرة على سطح الأرض ولكنها لا تعطي قيم التبخر الفعلي وخصوصا عندما يكون الماء متوفراً فقط داخل مسامات التربة وبصورة غير مشبعة في معظم الأحيان، حيث تتناقص الرطوبة السطحية بصورة سريعة.

وتفتقر منطقة شبه الجزيرة العربية بصفة خاصة والمناطق الجافة بصفة عامة للدراسات التي تتناول قياس التبخر الفعلي المباشر من الطبقة السطحية من التربة. ومن الدراسات التي اهتمت بالتبخر من التربة السطحية بالمناطق الجافة الدراسة الذي قامت بها الباحثة زاموري^[١] لتقدير التبخر من التربة بمنطقة مستنقعات بحيرة اشكل بشمال تونس. كما أن أغلب دراسات التبخر في المناطق الجافة كان تركيزها على دراسة الاستهلاك المائي للمحاصيل الزراعية، وهو ما يساوي عادة التبخر والنتح الناتج عن عملية الري في الأراضي الزراعية^[٣،٢]. وقد قام عدد من الباحثين بدراسة الاستهلاك المائي للنباتات بالمملكة العربية السعودية مثل دراسة استهلاك محصول القمح^[٤]، ودراسة عن استهلاك نخيل التمر^[٥]، ودراسة حول الاستهلاك المائي للبرسيم بمنطقة الرياض^[٦].

قامت وزارة الزراعة والمياه بإنشاء عدد من المحطات المناخية بمختلف مناطق المملكة يتم في بعضها قياس التبخر باستخدام أحواض التبخر القياسية.

وبلغ عدد المحطات التي تقيس التبخر بالمملكة حسب النشرة الهيدرولوجية للمعلومات المناخية الشهرية للفترة من ١٩٧٥ إلى ١٩٨٤م أربعة وخمسون محطة. ولا يوجد أي من هذه المحطات بقرب منطقة الدراسة الواقعة قرب مدينة مكة المكرمة، وأقرب تلك المحطات لمنطقة الدراسة من حيث المسافة والتشابه من حيث قيم درجات الحرارة هي محطة المظيلف (حوالي ٣٥٠ كم جنوب مكة المكرمة) وتتميز المظيلف عن منطقة الدراسة بزيادة معدل الرطوبة نظرا لقربها من ساحل البحر الأحمر. وأشارت النشرة الهيدرولوجية إلى أن معدل التبخر السنوي المقاس من قبل محطة المظيلف بلغ ٣٦٤٤ مم للفترة من ١٩٧٥ إلى عام ١٩٨٢م، وبلغ متوسط التبخر اليومي لشهر ديسمبر ٧،٥ مم/يوم، وهو الشهر الذي أجريت فيه تجربة قياس التبخر الحالية. وتقع محطة السيل الكبير على مسافة أقرب لمنطقة الدراسة (حوالي ١٠٠ كم) ولكن معدل درجات الحرارة بها أقل لكونها ترتفع عنها بحوالي ٩٠٠ متر. وبلغ متوسط التبخر اليومي بها لشهر ديسمبر ٦،٤ مم/يوم وذلك للفترة من ١٩٧٥ إلى ١٩٨٤م. وحيث إن عامل زيادة الرطوبة ونقص درجة الحرارة كلاهما مثبط للتبخر فإنه من المتوقع أن يزيد معدل التبخر بمنطقة الدراسة عن القيم المسجلة بمحطتي المظيلف والسيل الكبير حيث يتوقع أن تكون قيمة معدل التبخر بمنطقة الدراسة لشهر ديسمبر أعلى من ٨ مم/يوم.

وقد قام عدد من الباحثين في مناطق مختلفة من العالم بدراسة التبخر المباشر من التربة السطحية. فقد تمت دراسة خصائص التبخر من سطح الأرض باستخدام أجهزة ليسيمتر اسطوانية قطرها ٣٠ سم وعمقها ٣٠،٥ سم بمنطقة تقع في شرق هضبة التبت بالصين، ووجد الباحثون أن طريقة الليسيمتر يمكن الاعتماد عليها في تقدير التبخر اليومي من التربة السطحية^[٧]. كما وجدوا

أن قيم معدل التبخر اليومي تتراوح بين ٠,٣ و ٣,٥ مم/يوم بمنطقة الدراسة. كما تمت دراسة آلية التبخر من التربة ذات السطح الجاف في اليابان^[٨]. واستخدم ليسيمتر مصغر لقياس التبخر بمنطقتين شبه جافتين باستراليا^[٩]. كما تم استخدام جهاز ليسيمتر اسطواني قطره ١,٥ متر وعمقه ١,٥ متر لقياس التبخر من التربة في تجربة استمرت لمدة شهرين بمركز أبحاث المناطق الجافة باليابان^[١٠]. وقد أشارت عدد من الدراسات إلى أن مقياس جهاز الليسيمتر لا يؤثر على دقة قياس التبخر^[١١]. وقد أظهرت نتائج دراسة العوامل المؤثرة على التبخر من التربة السطحية باستخدام بيانات مقاسة بواسطة جهاز ليسيمتر عمقه ١٢٠ سم أن درجة الحرارة كانت أهم العوامل المؤثرة على التبخر^[١٢]. وبينت تجارب قياس التبخر من التربة باستخدام جهاز ليسيمتر في المعمل أن قيم التبخر صغيرة من أعماق التربة التي تزيد على ٢٥ سم مقارنة بالتبخر من الطبقة السطحية^[١٣]. وقد تم استخدام قياسات التبخر والمحتوى الرطوبي للتربة من ثمانية أجهزة ليسيمتر بمنطقة برلين بألمانيا لاختبار نموذجين رياضيين متعلقين بدراسة الاتزان بين التربة والمياه^[١٤].

هناك العديد من الطرق التي تستخدم لتقدير التبخر الفعلي من التربة مثل طرق ميزانية الطاقة (Energy Balance) وطرق الميزانية المائية (Water Balance) وطرق قياس تدفق مياه التربة (Soil Water Flux Measurements). وتعتمد طريقة ميزانية الطاقة على قياس الأشعة الساقطة والمنعكسة، وتحتاج إلى تجهيزات مكلفة ومكثفة. ويتم في طرق الميزانية المائية قياس التغير في رطوبة التربة ومراقبة التغذية المائية لسطح التربة ومن ثم حساب التبخر من معادلة الميزانية المائية. وتستخدم طرق الميزانية المائية عادة جهاز الليسيمتر كوسيلة لعزل حجم محدد من التربة لمتابعة تغير المحتوى الرطوبي ضمن ذلك الحجم إما عن طريق مراقبة تغير

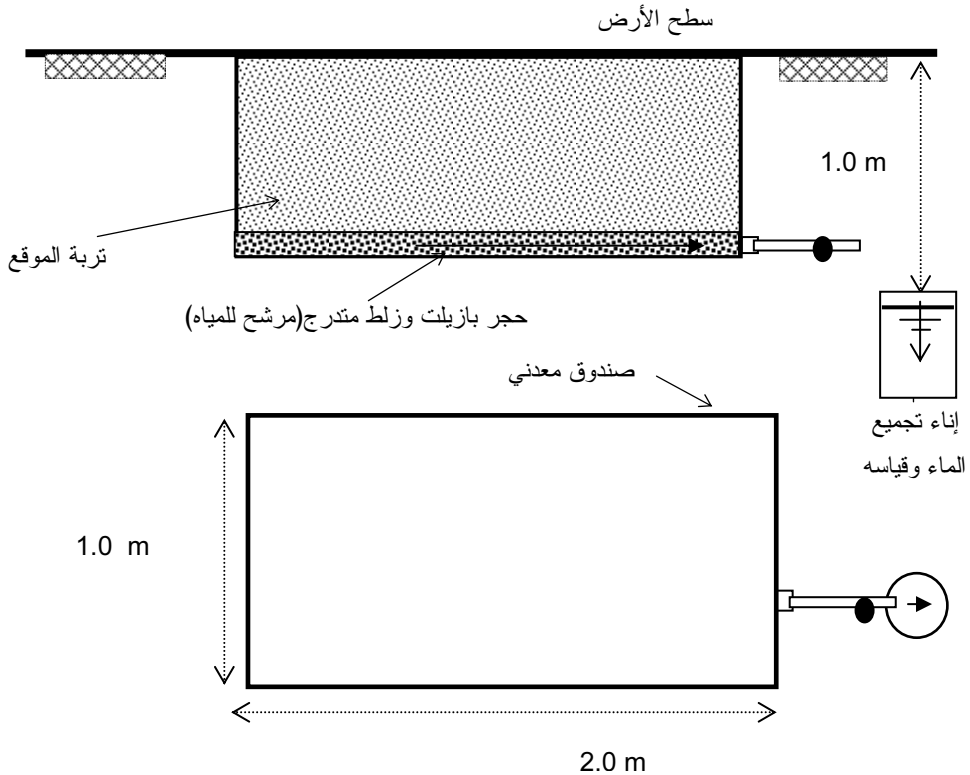
وزن الليسيومتر أو أخذ عينات تربة من داخله وقياس الرطوبة بها. وتعتبر هذه الطريقة مثالية لتقدير التبخر عندما يتم تزويد التربة بالماء من أعلى كما هو الحال عند هطول المطر أو عند ري الأرض. وتتطلب طريقة قياس تدفق مياه التربة قياس المحتوى الرطوبي عند أعماق مختلفة من التربة وربط تلك القياسات بتدفق مياه التربة واتجاه التدفق ومن ثم تقدير التبخر. وقد تم القيام بعملية القياس المباشر للتبخر من التربة السطحية للوادي في الدراسة الحالية باستخدام الليسيومتر التصريفي (Drainage Lysimeter) وقياسات المحتوى الرطوبي اليومي لطبقات التربة السطحية.

٢- المواد والطريقة

٢-١ وصف التجربة

تم اختيار مكان التجربة ليكون على المجرى الرئيس لوادي نعمان عند تقاطعه مع أحد أكبر روافده وهو وادي رهجان وذلك بجوار مبنى مشروع إعمار عين زبيدة على طريق مكة المكرمة الطائف السريع. ويقع وادي نعمان شرق مدينة مكة المكرمة وغرب مدينة الطائف بالمنطقة الغربية من المملكة العربية السعودية. وتهدف التجربة إلى تقدير معدلات الفقد المائي بالتبخر الفعلي المباشر من التربة وكذلك تقدير معدلات الصرف السفلي من طبقة التربة السطحية بالوادي. وقد أجريت التجربة باستخدام ليسيومتر تصريفي محلي الصنع يتكون من صندوق معدني (حديد مجلفن) يبلغ طوله مترين بينما كان عرضه وارتفاعه مترًا واحدًا، كما هو موضح بالشكل (١). وتم تجهيز الصندوق بميول تصريفية في القاع بحيث يمكن تجميع مياه الصرف السفلي من مخرج أسفل الصندوق وتوجيهها إلى أنبوب لصرف المياه خارج الصندوق حيث يتم قياس حجمها بصورة يومية. كما تم استخدام لوح معدني مثقب أعلى الصندوق يستخدم فقط أثناء إمداد التجربة بالمياه لكي يتم توزيع المياه على التربة السطحية

بشكل منتظم. وكان الصندوق عند إجراء التجارب مدفوناً بالكامل في التربة ومغلقاً من جميع الأوجه ماعدا السطح الذي يتم من خلاله إمداد التجربة بالمياه والسماح بالفقد المائي بالتبخر المباشر. وقد تم تهيئة الصندوق لبداية التجارب عن طريق حفر حفرة مناسبة لأبعاد الصندوق مع مراعاة الاحتفاظ بالتربة الناتجة عن الحفر ثم تثبيت الصندوق بالحفرة وإعادة التربة للصندوق بنفس ترتيب طبقاتها الموجودة في الموقع قبل الحفر. وقد تم تحليل قوام التربة المستخرجة من الموقع حيث كانت تربة رملية بلغت نسبة الرمل بها حوالي ٩٢٪ مع وجود نسبة قليلة من الأحجار (١٪) وكذلك من الطمي والطين (٧٪).



شكل (١). كروكي لأبعاد تجربة الليسيمتر التصريفي الحقلي المستخدم لقياس معدل التبخر المباشر من التربة.

٢-٢ تقدير التبخر المباشر

تم إجراء التجارب عن طريق تزويد التربة داخل الصندوق بعمق محدد من المياه وبمعدل منتظم على السطح ثم مراقبة تغير المحتوى الرطوبي بصورة يومية، وقياس الصرف اليومي للمياه من أسفل الصندوق. وتم قياس المحتوى الرطوبي للتربة عن طريق أخذ أربع عينات تربة يوميا من أربعة أعماق مختلفة من داخل الصندوق. حيث تم تحديد المحتوى الرطوبي للعينات عن طريق تجفيف العينة بالفرن ومقارنة وزنها بعد التجفيف بوزنها عند استخراجها من موقع التجربة وتم تقدير معدلات التبخر المباشر من التربة باستخدام طريقة الميزانية المائية خلال عمق التربة والتي تتلخص في المعادلات الآتية:

$$(١) \quad H - E - Q = \Delta V_s$$

$$(٢) \quad \Delta V_s = V_s^t - V_s^{t-1}$$

حيث H هي المياه المتسربة سطحيا (مم/يوم) (المياه المخترقة لسطح التربة) و E هي المياه المتبخرة من التربة (مم/يوم) و Q هي المياه المنصرفة لأسفل (مم/يوم)، ΔV_s معدل التغير في المخزون المائي بالتربة (مم/يوم)، V_s^{t-1} مياه التربة المخزنة سابقاً كعمق ماء مكافئ (مم/يوم)، V_s^t مياه التربة المخزنة في الزمن الحالي t بوحدة عمق مائي مكافئ (مم/يوم). وبفرض أن عمق التربة يتكون من عدة طبقات مختلفة الخواص ذات أعماق D_j (مم) حيث j تمثل رقم طبقة التربة فإن المياه المخزنة في التربة عند الزمن $t, t-1$ يمكن حسابها كالاتي:

$$(٣) \quad V_s^{t-1} = \sum_{j=1}^m D_j \theta_j^{t-1}$$

$$(٤) \quad V_s^t = \sum_{j=1}^m D_j \theta_j^t$$

حيث θ_j^t هي متوسط المحتوى الرطوبي الأرضي (مم/م^٣) بالطبقة رقم j عند الزمن t و m هي العدد الكلي لطبقات التربة .

وحيث إن عملية اختراق المياه لسطح التربة (التسرب) تتم خلال مدة محدودة من اليوم التي يتعرض خلالها سطح التربة للأمطار أو السيول لذلك فإن معادلة الاتزان السابقة تصبح خلال باقي الفترة الزمنية (حيث التسرب متوقف $H=0$) كالآتي:

$$(٥) \quad E + Q = \Delta V_s$$

حيث E هو معدل التبخر السطحي الفعلي (مم/يوم) من التربة . وفي حالة عدم حدوث (أو توقف) الصرف السفلي للمياه Q تصبح المعادلة السابقة كالآتي:

$$(٦) \quad E = \Delta V_s$$

وقد تم تطبيق المعادلات السابقة باستخدام فترة زمنية يومية وكانت المتغيرات المقاسة في التجربة هي قيم رطوبة التربة لمختلف أعماق التربة ومعدل التسرب السطحي ومعدل الصرف السفلي. وبذلك يصبح المجهول الوحيد في المعادلات السابقة هو التبخر المباشر من التربة وذلك في ثلاث مراحل مختلفة هي مرحلة أثناء هطول المطر (معادلة رقم ١) ومرحلة ما بعد الهطول حيث الصرف السفلي (معادلة رقم ٥) ومرحلة ما بعد الهطول وتوقف الصرف السفلي (معادلة رقم ٦).

٣- النتائج والمناقشة

أجريت التجربة باستخدام ثلاثة معدلات مختلفة لإمدادات المياه على سطح التربة وقياس التغير في محتوى الرطوبة عند مختلف طبقاتها باستخدام طريقة التجفيف في الفرن وفي نفس الوقت يتم تجميع مياه الصرف السفلي أسفل الليسيمتر في وعاء يتم به معرفة حجم المنصرف اليومي. وقد اختير موسم الشتاء والذي تحصل خلاله السيول عادة بوادي نعمان لإجراء التجربة والتي استمرت لمدة ٢٦ يوماً متواصلة من اليوم العاشر لشهر ديسمبر حتى الرابع من شهر يناير. وتكونت التجربة من ثلاث مراحل متتابعة تم تزويد التجربة فيها بالمياه في الأيام الأولى والثامن والثامن عشر بأعماق ٥ و ١٥ و ١٠ مم على التوالي. وتم تنفيذ التجربة بأخذ قراءات يومية لقيم رطوبة التربة عند أربعة

أعماق من التربة. يعرض الجدول (١) قيم المحتوى الرطوبي المقاسة من تجربة الليسيمتر لمختلف طبقات التربة.

جدول (١). قيم المحتوى الرطوبي اليومية لأعماق التربة بموقع التجربة.

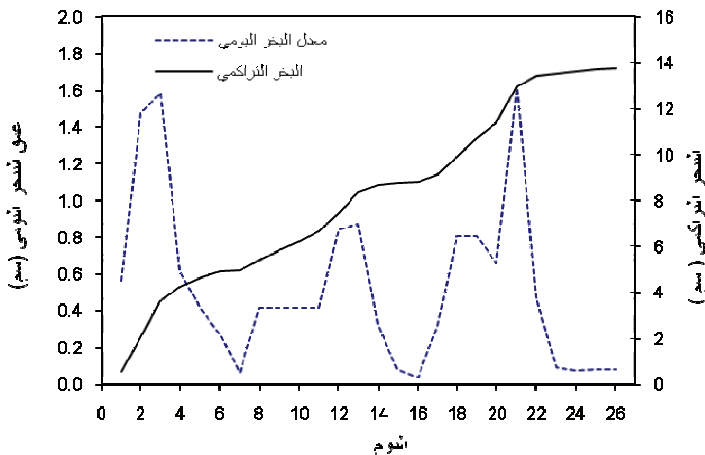
المحتوى الرطوبي (%)	اليوم	المحتوى الرطوبي (%)	اليوم	المحتوى الرطوبي (%)	اليوم	المحتوى الرطوبي (%)	اليوم	عمق التربة (سم)
٤,٢	٢١	٥	١٤	٤,٥٧	٧	١٣,٩٩	عند بداية التجربة	١٥
٥,٦٩		٥,٤٢		٤,٢٩		١٣,٠٤		٣٠
٥,٠٣		٥,٥٧		٤,٨٩		١٤,٠٦		٤٥
٩,٤٥		١٠,٣٥		٥,٥		٤,٢		٧٥
٣,٩٣	٢٢	٤,٦٣	١٥	١٠,١٩	٨	٧,٩٣	١	١٥
٤,٨٣		٥,١٩		١٤,٢٦		٧,٩٧		٣٠
٤,٥١		٥,٢٨		١٧,٦٧		١٠,٣٧		٤٥
٩,٠٨		٩,٧٧		٢٩,٠٦		١٠,١٧		٧٥
٣,٩	٢٣	٤,٣٨	١٦	٦,٧٩	٩	٦,٩٨	٢	١٥
٤,٦١		٤,٨١		١١,٩٨		١٠,١٤		٣٠
٤,٣٨		٥,١٣		١٣,٨٨		٨,٧٥		٤٥
٩,٠٣		٩,٤		٢٦,١٤		٧,١٢		٧٥
٣,٨٨	٢٤	٣,٥٢	١٧	٦,١٦	١٠	٦,١٦	٣	١٥
٤,٣٨		٤,٥٥		٨,٤١		٨,١٨		٣٠
٤,٢٧		٤,٦٣		٩,٩٤		٥,٦٨		٤٥
٩		٩,١٨		٢٥,٤٩		٦,٠٩		٧٥
٣,٨٦	٢٥	٩,٦٦	١٨	٦,٠١	١١	٥,١٢	٤	١٥
٤,١٦		١٠,٦٥		٧,٣٧		٥,٧٥		٣٠
٤,١٣		١٤,٦١		٨,٧٧		٣,٩٢		٤٥
٨,٩٨		٢٦,١٤		١٨,٧١		٧,٠٤		٧٥
٣,٨٤	٢٦	٥,٠٣	١٩	٥,٢٦	١٢	٤,٨١	٥	١٥
٣,٩٣		٦,٨٤		٥,٧٢		٥,٠٢		٣٠
٣,٩٨		٨,٢٤		٦,٧٦		٥,١٢		٤٥
٨,٩٧		١٢,٨١		١٦,٠٣		٥,٨		٧٥
		٤,٥٩	٢٠	٥,١٦	١٣	٤,٤٩	٦	١٥
		٦,٧٤		٥,٤٧		٤,٤١		٣٠
		٦,٩٢		٦,٧٤		٥,٩٤		٤٥
		١١,٨٢		١١,٣٩		٥,٠٦		٧٥

ويوضح الجدول (٢) معدلات التبخر المباشر من التربة خلال مدة التجربة التي استمرت ٢٦ يوماً وذلك لثلاثة معدلات مختلفة من مياه السيول (أو الأمطار المباشرة) وهي ٥ سم، ١٥ سم، ١٠ سم على التوالي. وقد تم حساب قيم التبخر اليومي باستخدام المعادلة (١). وقد تبين أن مقدار التبخر اليومي في اليوم الأول من التجارب كان دائماً أقل من مقداره في الأيام التي تلي اليوم الأول. وقد اتضح أن ذلك يعود لقيم المحتوى الرطوبي العالية المقدره لليوم الأول فقد أدت تلك القيم العالية إلى أن تكون قيمة التبخر اليومي سالبة في اليومين الأولين من التجربة الثانية واليوم الأول من التجربة الثالثة. ويمكن تفسير ذلك أنه في اليوم الأول، والذي يتم خلاله إضافة المياه للتربة فإن المياه تكون متحركة بكثافة داخل الصندوق عند أخذ عينات التربة، مما يجعل من الصعوبة أخذ عينة ممثلة لطبقة التربة، مما يتسبب في أن تكون قيم المحتوى الرطوبي المستنتجة من تلك العينات دائماً كبيرة لليوم الأول. ويمكن الاستنتاج من هذه المشكلة أنه بدلاً من أخذ عينات من التربة فإنه يمكن استخدام مجسات إلكترونية لقياس المحتوى الرطوبي للتربة للحصول على نتائج أفضل في حال أن المياه متحركة بالتربة بنسبة كبيرة. وعموما فلم تؤثر هذه المشكلة على قيم التبخر التراكمي للأيام التي تلي اليوم الأول حيث إنها تعتمد في حسابها على قيمة المحتوى الرطوبي في اليوم الذي تحسب له واليوم الذي كان قبل بداية التجربة. وقد استخدمت قيم التبخر التراكمي في تصحيح قيم التبخر اليومي في الأيام الأولى للتجربتين الثانية والثالثة. فقد تم تقدير قيمة التبخر في اليوم الأول من التجربة الثالثة عن طريق حساب قيمة التبخر التراكمي في اليوم الثاني ثم توزيع تلك القيمة بين اليومين الأول والثاني بالتساوي. وبالنسبة للتجربة الثانية فإنه عندما زاد عمق المياه المضافة إلى ١٥ سم فإن قيم المحتوى الرطوبي للتربة كانت كبيرة في الأيام الثلاثة الأولى بحيث أصبحت قيمة التبخر سالبة في اليومين الأولين وصغيرة جدا في اليوم الثالث من بدء التجربة. وقد تم تقدير قيمة التبخر في الأيام الثلاثة الأولى باستخدام إجمالي التبخر التراكمي عند اليوم الرابع وافترض أنها موزعة بين الأربعة أيام بالتساوي.

جدول (٢). قيم عناصر الموازنة المائية المقاسة من اللبسيتر التصريفي.

التجربة	اليوم	عمق المياه المضافة (سم)	عمق التبخر اليومي (سم/يوم)	عمق التبخر التراكمي (سم)	عمق المياه المنصرفة أسفل الصندوق (سم)	عمق المياه المتبقية بالتربة (سم)	معدل التبخر اليومي (سم/يوم)
الأولى	١	٥	٠,٥٧	٠,٥٧	٠	٩,٣٨	٠,٧١١
	٢	٠	١,٤٧	٢,٠٤	٠	٧,٩١	
	٣	٠	١,٥٨	٣,٦٢	٠	٦,٣٣	
	٤	٠	٠,٦١	٤,٢٣	٠	٥,٧١	
	٥	٠	٠,٤١	٤,٦٤	٠	٥,٣١	
	٦	٠	٠,٢٨	٤,٩٢	٠	٥,٠٣	
	٧	٠	٠,٠٦	٤,٩٧	٠	٤,٩٧	
الثانية	٨	١٥	٠,٤١	٥,٣٩	١	١٨,٥٦	٠,٤١٣
	٩	٠	٠,٤١	٥,٨	٢,٦	١٥,٥٥	
	١٠	٠	٠,٤١	٦,٢٢	١,٢	١٣,٩٤	
	١١	٠	٠,٤١	٦,٦٣	١,٦	١١,٩٢	
	١٢	٠	٠,٨٤	٧,٤٧	١,١	٩,٩٧	
	١٣	٠	٠,٨٧	٨,٣٤	١,٠٥	٨,٠٥	
	١٤	٠	٠,٣٢	٨,٦٧	٠,٤	٧,٣٣	
	١٥	٠	٠,٠٨	٨,٧٥	٠,٣٥	٦,٩	
	١٦	٠	٠,٠٣	٨,٧٨	٠,١٥	٦,٧٢	
	١٧	٠	٠,٣٢	٩,١	٠,٠٥	٦,٣٥	
الثالثة	١٨	١٠	٠,٨	٩,٩١	٣,٢	١٢,٣٥	٠,٥١٨
	١٩	٠	٠,٨	١٠,٧١	٢,٤	٩,١٤	
	٢٠	٠	٠,٦٦	١١,٣٧	٠,١٥	٨,٣٣	
	٢١	٠	١,٦١	١٢,٩٨	٠	٦,٧٢	
	٢٢	٠	٠,٤٦	١٣,٤٤	٠	٦,٢٦	
	٢٣	٠	٠,٠٩	١٣,٥٣	٠	٦,١٧	
	٢٤	٠	٠,٠٨	١٣,٦١	٠	٦,٠٩	
	٢٥	٠	٠,٠٨	١٣,٦٨	٠	٦,٠١	
	٢٦	٠	٠,٠٨	١٣,٧٦	٠	٥,٩٤	
متوسط معدل التبخر اليومي (سم/يوم)							٠,٥٤٧

ويعرض الشكل (٢) منحنيات عمق التبخر المباشر وعمق التبخر التراكمي خلال فترة التجربة. وكما يتضح من الشكل فإن القيم اليومية للتبخر كانت أعلى ما يمكن خلال الفترة التي تلت الإمداد بالمياه ثم تناقصت تدريجياً إلى أدنى قيمة لها بعد فترة ٨ أيام وهي تمثل الموسم الشتوي الذي يكثر خلاله حدوث الأمطار والسيول بمنطقة الدراسة. وسجلت أعلى قيمة للتبخر اليومي بمعدل ١,٦١ سم/يوم في اليوم الرابع من الإمداد بالمياه في المرحلة الثالثة من التجربة بينما سجلت أدنى قيمة في اليوم الأخير من المرحلة الأولى بمعدل ٠,٠٦ سم/يوم. أما قيم المتوسط اليومي خلال مراحل التجربة الثلاث فكانت كالتالي ٠,٧١١، ٠,٤١٣، ٠,٥١٨ سم/يوم على التوالي وبمتوسط عام لكامل مدة التجربة مقداره ٠,٥٤٧ سم/يوم. ويمثل هذا المتوسط قيم المتوسط اليومي للتبخر بعد هطول المطر وذلك لدورة مقدارها حوالي ٨ أيام من بداية حدوث المطر. ويجدر الإشارة هنا إلى أن هذا المتوسط لا يمكن تعميمه على كل الفترات حيث إن ما يحدث هو زيادة عالية للمعدل في الأيام التي تلي هطول المطر ثم تناقصه إلى أدنى قيمة بعد ٨ أيام ويستمر مستوى التبخر المنخفض حتى تتلاشى الرطوبة الأرضية تماماً.



شكل (٢). التبخر المقاس مباشرة من التربة بوادي نعمان كمعدلات يومية وتراكمية.

يتضح من قيم التبخر بالجدول (٢) ومن قيم المعدلات التراكمية للتبخر أن مقدار التبخر المباشر من التربة لا يزداد بالضرورة مع زيادة عمق المطر المتساقط، حيث تتسبب الزيادة في عمق مياه المطر في زيادة عمق المياه المنصرفة إلى أسفل، بينما يتحكم في مقدار التبخر المباشر حجم المخزون المائي المتبقي في عمق التربة والعوامل الجوية المؤثرة في استخراج هذه المياه على هيئة بخر مباشر. وتتضح هذه النتيجة من قيم التبخر التراكمي بالجدول حيث بلغت خلال المرحلة الأولى من التجربة باستخدام ٥ سم مياه مطر ٤,٩٧ سم حدثت خلال ٧ أيام ووصلت في التجربة الثانية باستخدام ١٥ سم إلى ٤,١٣ سم خلال ١٠ أيام وكانت في التجربة الثالثة باستخدام ١٠ سم تساوي ٤,٦٦ سم خلال ٩ أيام مع ملاحظة أن هذه القيم كانت من تربة عمقها متر واحد فقط.

ويعرض الجدول (٣) النسب المئوية لعناصر الميزانية المائية للمراحل الثلاث للتجربة. ويتضح من القيم أنه خلال المرحلة الأولى والتي زودت فيها التجربة بعمق ٥ سم من المياه تبخر معظم هذه المياه ولم يبق في التربة منها إلا أقل من ١٪، بينما لم يتسرب منها شيء نحو الطبقات السفلى (الصرف السفلي). أما في المرحلة الثانية، والتي زودت فيها التربة بثلاثة أضعاف كمية المياه التي حصلت عليها في المرحلة الأولى، فقد نجح حوالي ثلثي تلك المياه في التسرب إلى عمق أكبر من متر من التربة، بينما تبخر أقل من ثلث المياه التي زودت بها التجربة. وقد توسطت المرحلة الثالثة من التجربة بين مرحلتين السابقتين حيث تسرب حوالي نصف المياه وتبخر النصف الآخر. ويلاحظ أن التربة السطحية لم تحتفظ بمخزون يذكر من المياه خلال المراحل

الثلاث بل إنها خسرت جزءاً كبيراً من مخزونها خلال المرحلة الثالثة، والذي اكتسبته في المرحلة الثانية التي تم تزويد التربة فيها بأكبر كمية من المياه.

جدول (٣). الميزانية المائية لتجارب قياس التبخر بوادي نعمان.

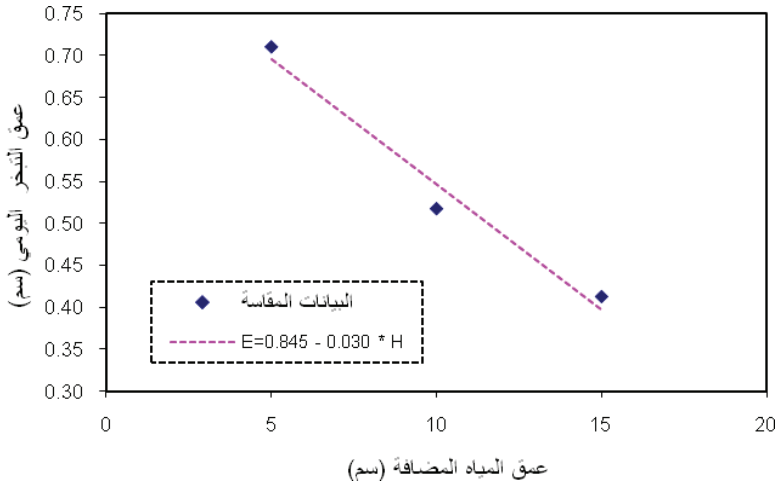
التجربة	عمق المياه المضافة (سم)	المياه المتبخرة %	المياه المنصرفة %	تغير مخزون التربة %
١	٥	٩٩,٤	٠	٠,٦
٢	١٥	٢٧,٥	٦٣,٣	٩,٢
٣	١٠	٤٦,٦	٥٧,٥	٤,١-

تمت دراسة أثر إضافة كميات مختلفة من المياه في مراحل التجربة المختلفة على قيم التبخر وكذلك على التوزيع الزمني للتبخر وذلك عن طريق تحليل نتائج تجربة التبخر وتمثيلها رياضياً كما هو مبين في الأشكال من (٣) إلى (٦). يوضح الشكل (٣) أن هناك علاقة عكسية واضحة ($R^2=0.99$) بين عمق المياه التي تزود بها التجربة ومعدل التبخر اليومي فكلما زاد عمق المياه التي تزود بها التجربة قل معدل التبخر اليومي ويمكن أن يعزى ذلك إلى أن زيادة كمية المياه تسمح بسرعة انتقال المياه لأعماق بعيدة من السطح مما يقلل من التبخر. ويعرض الشكل (٤) مقارنة بين التوزيع الزمني لقيم التبخر التراكمي لمراحل التجربة الثلاث ويتضح من الشكل أن هناك تشابهاً كبيراً في نمط التوزيع الزمني وإن اختلفت قيم التبخر بين المراحل الثلاث. ويتضح مدى التقارب بين نمط التوزيع الزمني للتبخر التراكمي لمراحل التجربة عند قسمة تلك القيم على متوسط التبخر اليومي لكل تجربة كما هو موضح بالشكل (٥). ويبين الشكل أن نتائج التجارب قد تقاربت مما يشير إلى إمكانية وجود علاقة رياضية واحدة يمكن أن تمثل مراحل التجربة الثلاث التي تتباين فيما بينها فقط في مقدار المياه التي تم تزويد التربة بها عند بداية التجربة. وقد تم بحث عدد

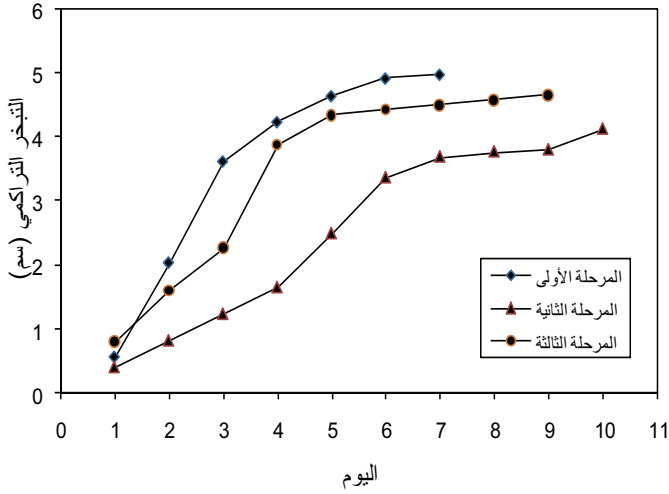
من العلاقات الممكنة التي تأخذ في الاعتبار قيم التبخر والزمن وعمق المياه التي زودت بها التربة عند بداية التجربة وأمكن الوصول للعلاقة غير الخطية التالية بين المتغيرات الثلاث.

$$(٧) \quad \frac{EE(t)}{\ln(H)} = c_1 * \ln(t) * t^{c_2}$$

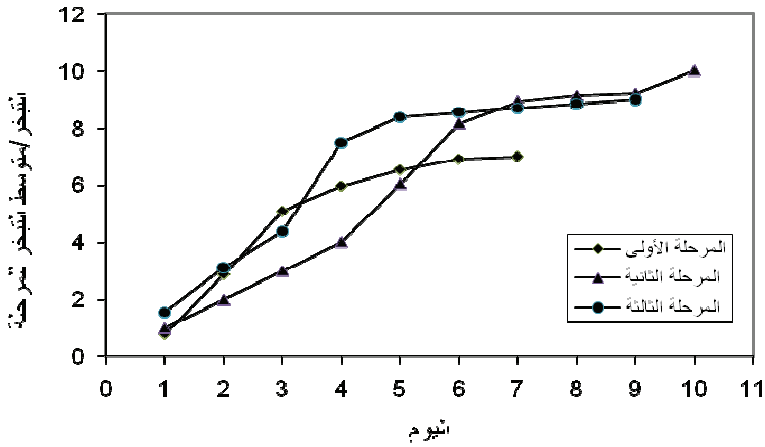
حيث $EE(t)$ قيمة التبخر التراكمي (سم) عند اليوم t و H عمق المياه (سم) التي زودت بها التجربة و c_1 و c_2 ثوابت يمكن إيجادها للتجربة الحالية بالقيم $٤,٤١$ و $٠,٠٥٥$ على التوالي والتي أعطت أفضل تمثيل رياضي بمعامل ارتباط يساوي $٠,٨٢$. ويوضح الشكل (٦) العلاقة بين القيم المحسوبة من البيانات المقاسة للمتغير $[EE(t)/\ln(H)]$ والزمن t ، لبيانات التجارب الثلاث وكذلك المنحنى الناتج عن المعادلة (٧). ويتضح من الشكل أن المعادلة كانت قادرة على تمثيل البيانات بصورة جيدة.



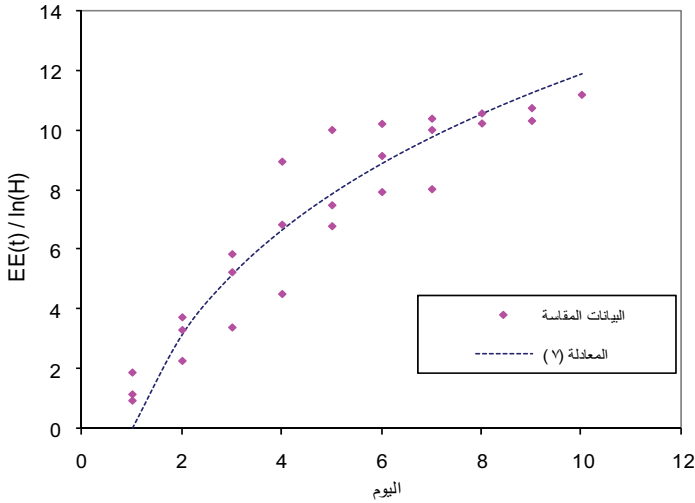
شكل (٣). العلاقة بين الماء المضاف للتجربة ومعدل التبخر اليومي.



شكل (٤). التوزيع الزمني لقيم التبخر التراكمي لكل مرحلة من التجربة.



شكل (٥). التوزيع الزمني لقيم التبخر التراكمي مقسومة على متوسط التبخر اليومي.



شكل (٦). العلاقة بين قيم التبخر التراكمي والزمن.

٤ - الاستنتاجات

اتضح أن مدة حدوث التبخر الفعلي من التربة السطحية بعد هطول المطر بمنطقة وادي نعمان تمتد لمدة ٨ أيام بعد هطول المطر أو جريان السيل على تربة الوادي. وكان معدل التبخر يتناقص بصورة سريعة خلال النصف الأول من تلك المدة وبصورة تدريجية أقل خلال النصف الثاني منها قبل أن يصل لقيمة ضئيلة من المتوقع أن تتحول إلى الصفر بعد بضعة أيام ما لم يحدث هطول جديد يرفع من قيم رطوبة التربة السطحية. وقد كان معدل التبخر عاليا خلال الأيام الأولى بعد الهطول قبل أن يصل إلى أقل من ملليمتر واحد خلال اليوم الثامن بعد الهطول وبمتوسط عمق تبخر يومي بلغ حوالي نصف سنتيمتر يوميا. وبذلك يتضح خطورة استخدام قيم التبخر الأقصى اليومية في دراسات الميزانية المائية للأودية حتى ولو لفترة قصيرة مثل أسبوع أو عشرة أيام حيث أن متوسط قيم التبخر الأقصى لمنطقة وادي نعمان لشهر ديسمبر أكبر من ٠,٨ سم/اليوم

أي أكبر من ٨ سم لعشرة أيام بينما تشير الدراسة الحالية إلى أن التبخر الفعلي في حالة حدوث هطول مطري سيكون أقل من ٥ سم وأقل من ذلك بكثير في حالة عدم حدوث الهطول.

وقد أشارت الدراسة إلى أن معدل التبخر اليومي كان يتناقص مع زيادة المياه التي تزود بها التجربة حيث أدت زيادة المياه على سطح التربة إلى سرعة تدفقها لأسفل وبالتالي ابتعادها عن سطح التربة المعرض للتبخر. وقد تراوحت نسبة المياه المتبخرة بين مراحل التجربة الثلاث بين ٩٩٪ و ٢٨٪. و يمكن الاستفادة من تلك النتائج في التخطيط للمشاريع التي يتم فيها القيام بعملية التغذية الصناعية لأحواض المياه الجوفية عن طريق ترشيح المياه من خلال التربة السطحية في تقليل التبخر، والسماح لأكبر نسبة بالتسرب للطبقات السفلى من التربة.

لقد أشارت نتائج مقارنة أثر تغيير عمق المياه التي تزود بها التجربة على قيم التبخر أنه على الرغم من اختلاف قيمة التبخر من التربة بين التجارب إلا أن تغييرها مع الزمن يأخذ منحى متشابهاً يمكن تمثيله بعلاقة رياضية واحدة ذات متغيرين هما الزمن وعمق المياه التي تم إمداد التربة بها.

لقد كانت مدة التجربة الحالية قصيرة ولعمق متر واحد واستخدمت فيها تربة رملية وبالتالي فإن نتائجها ممثلة لفصل الشتاء فقط وللعمر والتربة المستخدمة في التجربة. وتوصي الدراسة بإجراء ثلاث تجارب أخرى على الأقل لتمثيل فصول السنة وكذلك تنفيذ تجارب باستخدام أعماق تربة مختلفة وفي مناطق أخرى تكون نوعية التربة فيها مختلفة عن تلك التي استخدمت في الدراسة الحالية للحصول على نتائج ممثلة لمختلف فصول السنة وأنواع التربة وأعماقها. كما توصي الدراسة باستخدام مجسات إلكترونية لقياس المحتوى

الرطوبي بصورة مستمرة حيث تبين أن استخدام طريقة أخذ عينات من التربة وتحديد المحتوى الرطوبي لها غير دقيقة في الأيام التي يتم تزويد التجربة فيها بكمية كبيرة من المياه.

شكر وتقدير

يتقدم الباحث بالشكر والتقدير لمقام إمارة منطقة مكة المكرمة على توفير الدعم المادي والمساندة الإدارية للدراسة التي كانت ضمن مشروع إعمار عين زبيدة المدعم من قبل الإمارة.

المراجع

- [١] **Zammouri, M.**, "Case Study of Water Table Evaporation at Ichkeul Marshes (Tunisia)", *J. Irrig. and Drain. Engrg.*, **127**(5): 265-271(2001).
- [٢] **Snyder, R. L., Bali, K., Ventura, F. and Gomez-MacPherson, H.**, "Estimating Evaporation from Bare or Nearly Bare Soil", *J. Irrig. and Drain. Engrg.*, **125**(6): 399-403(2000).
- [٣] **Wythers, K.R., Lauenroth W.K. and Paruelo, J.M.**, "Bare-soil evaporation under semiarid field conditions", *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **63**: 1341-1349 (1999).
- [٤] **Alazba, A. A., Al-Ghobari, H. M., Mohammad F.S. and Al-Omran, A.M. A.M.**, "Measured and Estimated Crop ET and Kc for Wheat and Barely in Central Saudi Arabia", *Alex. Engrg. J. Agric. Res. Alexandria University*, **48** (2): 1-9 (2003).
- [٥] **Al-Amoud, A. I., Bacha, M. A. and Al-Darby, A. M.**, "Seasonal Water Use of Date Palms in Central Region of Saudi Arabia", *Agricultural Engineering Journal*, **9**(2): 51-62(2000).
- [٦] **Mohammad, F. S.**, 1997, "Calibration of Reference Evapotranspiration Equations for Alfalfa under Arid Climatic Conditions", *Journal of King Saud University, Agric. Sci.*, **9**(1): 39-56.
- [٧] **Zhang Y., Ohata, T., Ersi, K. and Tandong, Y.**, "Observation and estimation of evaporation from the ground surface of the cryosphere in eastern Asia", *Hydrological Processes*, **17**(6):1135-1147(2003).
- [٨] **Kobayashi, T., He, W. and Nagai, H.**, 1999, "Mechanisms of evaporation from soil with a dry surface", *Hydrological Processes*, **12**: 2185-2191.
- [٩] **Daamen, Carl C. and Simmonds, Lester, P.**, "Measurement of evaporation from bare soil and its estimation using surface resistance", *Water Resources Research*, **32**(5): 1393-1402(1996).
- [١٠] **Qiu, G. Y, Ben-Asher, J., Yano, T. and Momii, K.**, "Estimation of soil evaporation using the differential temperature method", *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **63**: 1608-1614 (1999).
- [١١] **Daamen, C. C., Simmonds L. P. and Wallace J. S.**, "Use of lysimeters to measure evaporation from sandy soils", *Agricultural and Forest Meteorology*, **65**: 159-

173(1993).

- Kasteel, R., Pütz, T., Vanderborght, J. and Vereecken, H.**, "Determination of Potential Evaporation and Hydraulic Properties for a Bare Soil Lysimeter by Inverse Parameter Estimation", *ASA-CSSA-SSSA International Annual Meetings*, New Orleans, Louisiana (2007). [١٢]
- Meerkerk, A., Van Wesemael, B. and Cammeraat, E.**, "Water availability in almond orchards on marl soils in southeast Spain: The role of evaporation and runoff", *Journal of Arid Environments*, **72**(12): 2168-2178 (2008). [١٣]
- Wegehenkel, M., Zhang, Y., Zenker, T. and Diestel, H.**, "The use of lysimeter data for the test of two soil-water balance models: A case study ", *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, **17**: 762-776 (2008). [١٤]

Estimation of Direct Evaporation Rate from Surface Soil of Namman Basin

Abdullah S. Al-Wagdany

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

Abstract. A drainage lysimeter was utilized to estimate direct evaporation from surface soil of Namman basin located south east of the Holly city of Makkah. A sandy soil from the site of the experiment was used in the lysimeter and the experiment consisted of three consecutive stages. In each stage of the experiment, different water depths were supplied to the soil in the lysimeter. Water content of soil layers and drainage discharge from the lysimeter were measured in daily bases for continuous 26 days. The equation of water balance was applied to compute the evaporation rate from soil surface. The study results indicated that evaporation rate was high during the first few days immediately after supplying the soil with water. The evaporation rate then rapidly decreased until it became negligible at the eighth day of each stage. Mean daily evaporation depth from the soil was estimated to be about 0.5 cm/day. Although the values of daily evaporation were different among the three stages of the experiment, they all have similar temporal trend and it was possible to find one regression equation to represent them. The equation has only two variables which are time and depth of water supplied to the soil. Most of water evaporated when soil was supplied by 5 cm of water while less than one third of water evaporated when the depth of supplied water increased to 15 cm. The current experiment simulates the direct evaporation from one meter depth of sandy soil during winter season. It is recommended to conduct at least three similar experiments during the other three seasons of the year and using different soil type from the study region.

Keywords: Evaporation – Namman Basin – Lysimeter