

## تقييم البرنامج Hydrus في التنبؤ بمنحنى إحتفاظ التربة بالماء

إياد سراي الدين\*

### الملخص

هدف هذا البحث إلى دراسة فاعلية برنامج المحاكاة (Hydrus) من أجل تحديد منحنى إحتفاظ التربة بالماء بالإعتماد على قياس بعض خواص التربة الفيزيائية مثل قوام التربة وتركيبها الميكانيكي وكثافتها الظاهرية ( $\rho_b$ )، وذلك لثمان عينات من الترب المتفاوتة في تركيبها الميكانيكي. بينت النتائج أن الإعتماد فقط على قوام التربة أو على محتواها من الطين والسلت والرمل لا يكفي من أجل الحصول على منحنى محاكاة قريب من المنحنى التجريبي، ونتج أفضل منحنى محاكاة عند استخدام محتوى التربة من الطين والسلت والرمل، بالإضافة إلى كثافتها الظاهرية كمدخلات للبرنامج، وترافق ذلك من وجود خطأ RMSE (جذر متوسط مربع الخطأ) بلغ 0.015 سم<sup>3</sup>/سم<sup>3</sup> كمتوسط عام لعينات التربة المدروسة على إختلاف تركيبها الميكانيكي. أشارت النتائج كذلك إلى انخفاض قيمة المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند الإشباع ( $\theta_s$ ) في منحنى المحاكاة عن قيمته في المنحنى التجريبي بمقدار 12%. تبين أنه يمكن الإعتماد على البرنامج Hydrus من أجل الحصول على منحنى إحتفاظ التربة بالماء على أن يُؤخذ بعين الإعتبار قيمة الخطأ RMSE بالإضافة إلى الفرق في قيمة ( $\theta_s$ ).

**الكلمات المفتاحية:** منحنى احتفاظ التربة بالماء، المحاكاة، رمل، طمي، طين.

\*مدّرس في قسم علوم التربة - كلية الزراعة-جامعة دمشق.

## Evaluation of Hydrus program in predicting soil water retention curve

Iyad Srayeddin\*

### Abstract

The purpose of this study was to evaluate the Hydrus program in predicting soil water retention curve by comparing the predicted curves with those obtained empirically. A set of 8 disturbed soil samples differ in texture and bulk density ( $\rho_b$ ) was used in this study. The results showed that a big difference between the predicted and empirical curves was found when only the soil texture or sand, silt and clay content (SSC) were used as inputs. The best predicted curves were observed when taking both the SSC and bulk density as inputs. This last simulation produced a Root Mean Square Error (RMSE) of  $0.015 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ . In addition, an underestimation of 12% at saturation ( $\theta_s$ ) in the predicted curves was also observed. More generally, the results pointed out that Hydrus could be a useful tool for predicting and estimating soil water retention curve if the RMSE value and deviation at saturation were taken into account.

**Keywords:** soil water retention curve, Hydrus, sand, silt, clay.

---

\* Teacher in the Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, University of Damascus

## المقدمة

من الضروري معرفة طبيعة العلاقات التي تربط بين كل من الجهد المائي للتربة وناقليتها المائية مع المحتوى الرطوبي من أجل فهم العديد من العمليات الهامة في التربة التي تتعلق بماء التربة مثل حفظ المياه water conservation، جدولة الري irrigation scheduling، صرف الماء water drainage، هجرة وانتقال الذائبات في التربة solute migration ونمو النبات plant growth.

ويُعدّ منحنى احتفاظ التربة بالماء (SWRC) من أهم الخواص الهيدروديناميكية التي تتميز بها التربة (Hillel، 1998)، فهو يربط بين المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة وجهد المادة (matric potential)، ويمكن من خلال هذا المنحنى توصيف العديد من الظواهر والعمليات الفيزيائية والفيزيا-مائية التي تحدث في التربة. يُعدّ الحصول على هذا المنحنى عملاً صعباً، حيث يتطلب ذلك تجهيزات حقلية مختلفة مثل التشيومتر (Tensiometer) من أجل قياس جهد المادة وجهاز الـ TDR (Time Domain Reflectometry)، أو المسبار النثروني من أجل قياس المحتوى الرطوبي للتربة، أو أجهزة مخبرية مثل جهاز الضغط الغشائي (Pressure Membrane)، أو طاولة الشد المائي (Table Tension) لقياس جهد المادة. برزت من هنا أهمية استخدام برامج المحاكاة والنماذج الرياضية المتوفرة كطريقة سهلة وفعالة من أجل تحديد منحنى احتفاظ التربة بالماء. ظهر في الآونة الأخيرة العديد من النماذج التي تعتمد على قياس بعض خواص التربة المختلفة من أجل تقدير إحتفاظها بالماء وفق معادلات تُسمى pedotransfer functions. تعتمد هذه المعادلات على التركيب الميكانيكي للتربة بالإضافة إلى كثافتها الظاهرية ومحتواها من الكربون العضوي. وضع Rawls وزملاؤه (1982) نموذجاً خطياً من أجل حساب المحتوى الرطوبي للتربة بالإعتماد على محتواها

من الرمل والصلت والطين والكربون العضوي وكثافتها الظاهرية، وقدّم كذلك Arya و Paris (1981) نموذجاً آخرًا من أجل التنبؤ بمنحنى احتفاظ التربة بالماء اعتماداً على توزيع حبيبات التربة وكثافتها الظاهرية. كما قام Al majou وزملاؤه في عام 2007 بتطوير نموذج Rawls من أجل التنبؤ بالمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة آخذاً بعين الاعتبار موقع الأفق الذي تنتمي إليها التربة في الحقل وتغير بنائها وكثافتها الظاهرية. ظهر في العقود الأخيرة العديد من برامج المحاكاة مثل البرنامج Unsatchem (Simunek وزملاؤه، 1996) والبرنامج SUMATRA (Van Genuchten، 1978) والبرنامج Hydrus-1، 2، 3D (Simunek وزملاؤه، 1998<sub>a</sub>) التي تُستخدم بشكل واسع في مجال فيزياء التربة. تصف هذه البرامج جريان الماء في التربة وانتقال الحرارة وانتقال الذائبات وغيرها من العمليات الفيزيائية والهيدروديناميكية المختلفة. ويُعد البرنامج Hydrus-1D من أكثر برامج المحاكاة استخداماً وتداولاً في مجال علوم فيزياء التربة (Simunek وزملاؤه، 2005)، وذلك بسبب شموليته وسهولة استخدامه. يُستخدم هذا البرنامج مجموعة من المعطيات كمدخلات (Inputs) يقوم بمعالجتها ثم يقوم بإعطاء نتائج المحاكاة كمخرجات (Outputs). أُستخدم هذا البرنامج من أجل محاكاة جريان الماء في التربة من قبل (Belmans وزملاؤه، 1983؛ Simunek وزملاؤه، 2008)، ومن أجل تحديد العلاقة بين الجهد المائي للتربة وناقليتها المائية مع محتواها الرطوبي (Eching وزملاؤه، 1993؛ Simunek وزملاؤه، 1998<sub>b</sub>)، وفي محاكاة انتقال المعادن الثقيلة في التربة (Nikodem وزملاؤه، 2010؛ Ngoc وزملاؤه، 2009؛ Van Genuchten، 1985؛ Trakal وزملاؤه، 2012) وفي محاكاة عملية امتصاص العناصر الغذائية من قبل الجذور النباتية (Simunek and Hopmans، 2009). استخدم Al Majou وزملاؤه (2008) البرنامج Hydrus في مقارنة مع غيره

من النماذج الرياضية لقياس المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند قيم متغيرة من جهد المادة، ولاحظ وجود فروقات معنوية واضحة بين هذه النماذج.

### مبررات البحث

- نقص الدراسات المرجعية حول تقييم فاعلية البرنامج Hydrus في دراسة الخواص الهيدروديناميكية للتربة، وبشكل خاص من أجل قياس منحني إحتفاظ التربة بالماء نظراً لأهميته من أجل فهم العديد من العمليات الفيزيائية التي تحدث في التربة.
- إنّ صعوبة الحصول على منحني إحتفاظ التربة بالماء تجريبياً بسبب الحاجة لتجهيزات مخبرية خاصة (كأجهزة قياس الجهد المائي للتربة) قد لا تتوفر في العديد من مخابر التربة بالإضافة إلى طول فترة القياس، استدعى اللجوء إلى طريقة المحاكاة كطريقة بديلة، متوفرة وسهلة الاستخدام.
- أهمية التوسع في استخدام Hydrus بتطبيقاته المختلفة في مجال علوم التربة، نظراً لإزدياد التوجه نحو النمذجة في معظم أبحاث التربة.

### أهداف البحث

يهدف هذا البحث إلى تحقيق الهدف التالي:

تقييم ودراسة فاعلية برنامج المحاكاة Hydrus-1D من أجل تحديد وقياس منحني إحتفاظ التربة بالماء باستخدام مدخلات بسيطة مثل التركيب الميكانيكي للتربة وكثافتها الظاهرية لمجموعة مختلفة من عينات التربة تتفاوت في قوامها ونسب مكونات الرمل والسلت والطين، وذلك من خلال مقارنة بين المنحنيات التجريبية المخبرية والمنحنيات الناتجة عن عملية المحاكاة باستخدام Hydrus.

## مواد البحث وطرائقه

## 1 - التربة المدروسة:

أُستخدمت في هذه الدراسة ثمان عينات تربة مضطربة (مخرّبة) ومختلفة التركيب الميكانيكي، تمّ إعتيانها في شهر أيار (2016) من الطبقة السطحية للتربة (0-15 سم) من عدة مناطق مختلفة بمحافظة السويداء، وإختلفت مناطق الإعتيان بين حقول زراعية، وحدائق بعض المنازل، والتراب المحيطة ببعض الوديان وذلك من أجل الحصول على أكبر تفاوت ممكن في التركيب الميكانيكي لهذه التربة. تم الحصول على (3 كغ) من كل عينة تربة، ثم نُقلت إلى المخبر حيث جُففت هوائياً ثم غُرِبت باستخدام منخل أقطار ثقوبه 2 مم للحصول على تربة متجانسة. ثم وُضعت في أكياس نايلون بإنتظار إجراء التحاليل المخبرية. ويبين الجدول (1) أعماق وأماكن إعتيان التربة المدروسة وبعض خواصها الفيزيائية والكيميائية.

الجدول 1 أماكن وأعماق إعتيان الترب المدروسة وبعض خواصها الفيزيائية والكيميائية.

رقم العينة	مكان الاعتيان	التركيب الميكانيكي (%)			قوام التربة	pH التربة	المادة العضوية %
		الطين	السلت	رمل			
1	حقل زراعي	49.54	23.73	26.73	طيني	6.5	1.46
2	حقل زراعي	49.45	23.05	27.5	طيني	6.6	1.32
3	حديقة منزل	44.25	25.93	29.82	طيني	6.9	2.05
4	حقل زراعي	39.43	22.87	37.7	طيني لومي	6.8	1.23
5	حديقة منزل	33.98	21.94	44.08	طيني مومي	7.1	1.87
6	تربة وديان	25.82	20.91	53.27	رملّي طيني لومي	6.9	1.67
7	تربة وديان	22.24	14.29	63.47	رملّي طيني لومي	7.0	1.98
8	حديقة منزل	37.98	15.69	46.33	رملّي طيني	6.8	1.73

## 2 - تحديد التركيب الميكانيكي للتربة:

تمّ تحديد التركيب الميكانيكي للتربة باستخدام طريقة الهيدروميتر (ASTM No.152H) وبوجود مادة مفرقة هي هيكساميتا فوسفات الصوديوم (Day، 1965). أمّا قوام التربة فتمّ تحديده باستخدام مثلث قوام التربة الأمريكي (William، 1991).

## 3 - تقدير المادة العضوية و pH التربة:

فُدرت المادة العضوية في التربة عن طريق أكسدة الكربون العضوي بديكرومات البوتاسيوم في وسط حامضي، واستخدام ملح مور للمعايرة وبوجود دليل الفيرورين (Pansu، 2006). أمّا تفاعل التربة (pH التربة) فتمّ قياسه عن طريق جهاز الـ pH وعلى مستخلص مائي 1:2.5.

## 4 - تحديد منحنى إحتفاظ التربة بالماء تجريبياً:

تمّ الحصول على منحنى إحتفاظ التربة بالماء تجريبياً باستخدام طريقة Wind (1969). تسمح الطريقة بتحديد منحنى إحتفاظ التربة بالماء ضمن مجال محدد من الجهد المائي. وتعتمد على دراسة جريان الماء في اسطوانة من التربة محكمة الإغلاق من الأسفل. يتحرك الماء ضمن هذه الشروط الحدية نحو الأعلى ليُفقد عن طريق التبخر عند سطح التربة. ومع تقدم زمن التجربة ينخفض محتوى التربة الرطوبي بشكل متدرج من أسفل العينة نحو الأعلى. ثم يتم زرع ثلاثة ميكروتنشيومترات في عينة التربة على أعماق مختلفة، حيث يُشكل كل ميكروتنشيومترين متتاليين طبقة، والطبقة السفلى تنحصر بين الميكروتنشيومتر الأخير والحد السفلي لعينة التربة، ثم يُحسب المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة في كل طبقة على النحو التالي (Tamari وزملاؤه، 1993):

أولاً- قياس المحتوى الرطوبي الحجمي التجريبي للتربة ( $\theta_v$ ) باستخدام العلاقة التالية:

$$(1) \quad \theta_v = \frac{M_{wt} - M_{we}}{V_t}$$

حيث  $M_{wt}$ : وزن الماء الكلي في التربة (غرام)،  $M_{we}$ : وزن كمية الماء التراكمية المفقودة (غرام)،  $V_t$  هو حجم التربة الكلي (سم<sup>3</sup>).

ثانياً- حساب متوسط المحتوى الرطوبي الحجمي الكلي لعينة التربة ( $\theta_{vt}$ ) عند الزمن  $t$  انطلاقاً من العلاقة التالية:

$$(2) \quad \theta_{vt} = \frac{1}{L} \times \left( \frac{\theta_{v1}}{D_1} + \frac{\theta_{v2}}{D_2} + \frac{\theta_{v3}}{D_3} \right)$$

حيث  $\theta_{v1}$ ،  $\theta_{v2}$ ،  $\theta_{v3}$  هو المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة في الطبقة الأولى والثانية والثالثة على التوالي (سم<sup>3</sup>/سم<sup>3</sup>). و  $D_1$ ،  $D_2$ ،  $D_3$  هو متوسط عمق الطبقة الأولى والثانية والثالثة على التوالي (سم)، و  $L$  هو ارتفاع اسطوانة التربة (سم).  
ثالثاً- ضبط وإحكام (Fitting) القيم التجريبية المقاسة للمحتوى الرطوبي الحجمي للتربة مع القيم المفترضة للمحتوى الرطوبي الحجمي الكلي للتربة ( $\theta_{vt}$ )، ويتم ذلك من خلال استخدام نموذج Van Genuchten (1980) والذي يُعطى بالعلاقة التالية:

$$(3) \quad \theta(h) = \theta_r + \left[ (\theta_s - \theta_r) \times \left[ 1 + (\alpha h)^n \right]^{-m} \right]$$

حيث  $\theta_r$ ،  $\theta_s$ : المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند الإشباع والمحتوى الرطوبي للتربة المتبقي (سم<sup>3</sup>/سم<sup>3</sup>) على التوالي،  $h$ : جهد المادة، وتمثل  $\alpha$  و  $m$  و  $n$  قيم ثابتة تتعلق بخواص التربة المدروسة وهي تحدد شكل المنحنى الناتج. ونتيجة عملية الضبط يتم تحديد متغيرات معادلة Van. G ( $\theta_r$ ،  $\theta_s$ ،  $\alpha$ ،  $n$ ،  $m$ ) التي تسمح بحساب المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة في الطبقات الثلاثة تبعاً لقيم جهد المادة ( $h$ ) التي يُسجلها الميكروتنشيومتر المزروع في كل طبقة. وقد أُستخدمت في هذه الدراسة إسطوانات مصنوعة من الـ PVC (Polyvinyl chloride) إرتفاعها 5 سم وقطرها 6.8 سم وحجمها 181.58 سم<sup>3</sup>، حيث مُلئت الإسطوانة بكمية من التربة الجافة هوائياً وزنها 222.5 غرام، ثم أُشبعت الاسطوانة مائياً من الأسفل بوضعها لمدة ثلاثة أيام في حوض مائي بلغ إرتفاع عمود الماء فيه حوالي 1 سم. وأُستخدم نفس وزن التربة (222.5 غرام)

لكل العينات المدروسة، وقد خضعت التربة للضغط في حال تجاوز إرتفاعها إرتفاع الاسطوانة.

ثم زُرِع بعد ذلك في اسطوانة التربة ثلاثة ميكروتونشيوميترات (Microtensiometer) (من نوع In Field 7) على أعماق 1.2، 2.6 و 3.8 سم من سطح عينة التربة (وهي أعماق ثابتة لكل عينات التربة المدروسة) ثم وُضعت العينة فوق ميزان نصف حساس لمراقبة إنخفاض وزنها بالتزامن مع تغيرات جهد المادة التي يسجلها الميكروتونشيوميتر. ثم تم وصل الميزان والميكروتونشيوميترات الثلاثة بجهاز (DATA LOGGER) لآخذ القراءات بشكل آلي، حيث يقوم الجهاز بجمع وتخزين القراءات المسجلة ليتم نقلها بعد ذلك إلى الحاسوب. سُجِلت قراءات الميكروتونشيوميترات والميزان بفواصل زمني بلغ 45 دقيقة، واستمرت التجربة مدة تتراوح بين 3-5 أيام حسب نوع التربة (قوامها) حتى الوصول إلى قيمة تبلغ 90 كيلوباسكال من جهد المادة وهي القيمة القصوى التي يسمح نوع الميكروتونشيوميتر المستخدم بقياسها.

#### 5- قياس الكثافة الظاهرية للتربة ( $\rho_b$ ):

بعد الإنتهاء من تحديد منحنى إحتفاظ التربة بالماء تجريبياً جُففت عينة التربة بوضعها في فرن تجفيف على درجة حرارة تبلغ 105 درجة مئوية خلال مدة تتراوح بين 24-48 ساعة حتى ثبات الوزن، ثم تم بعد ذلك حساب وزن التربة الجافة تماماً. وبعد قياس حجم التربة بعد الإشباع حُسبت الكثافة الظاهرية ( $\rho_b$ ) باستخدام العلاقة التالية (William، 1991):

$$(4) \quad \rho_b = \frac{M_s}{V_t}$$

حيث  $M_s$ : وزن التربة الجافة تماماً (غرام)،  $V_t$  حجم التربة الكلي بعد الإشباع (سم<sup>3</sup>).

## 6 - تحديد منحنى إحتفاظ التربة بالماء باستخدام برنامج المحاكاة Hydrus:

أُستخدم في هذا البحث إحدى تطبيقات برامج المحاكاة Hydrus وهو التطبيق Rosetta (Schaap وزملاؤه، 2001) الذي يقوم بوصف وتحديد منحنى إحتفاظ التربة بالماء. ويمكن حسب Hydrus تحديد هذا المنحنى انطلاقاً من خمسة أنواع من المدخلات (Inputs) وهي:

- مدخلات 1: تمثل المجموعة (أو الصف) الذي ينتمي إليه قوام التربة (textural class).
- مدخلات 2: وتشمل النسبة المئوية لكل من الطين والسلت والرمل (أي التركيب الميكانيكي للتربة). ويُشار لذلك بالرمز (SSC)
- مدخلات 3: وتشمل النسبة المئوية لكل من الطين والسلت والرمل وقيمة الكثافة الظاهرية للتربة ( $\rho_b$ )، أي ( $SSC + \rho_b$ )
- مدخلات 4: وتضم المدخلات الثلاثة السابقة مجتمعةً مضافاً إليها المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند جهد مادة يبلغ 33 كيلوباسكال والذي يُشار له بالرمز ( $TH_{33}$ ) وهو يكافئ متوسط المحتوى الرطوبي للتربة عند السعة الحقلية.
- مدخلات 5: وتشمل المدخلات الأربعة السابقة مجتمعةً مضافاً إليها المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند جهد مادة يبلغ 1500 كيلوباسكال والذي يُشار له بالرمز ( $TH_{1500}$ ) وهو يكافئ المحتوى الرطوبي للتربة عند نقطة الذبول الدائمة.

أما مخرجات البرنامج (Outputs) فهي واحدة لا تختلف باختلاف نوع المدخلات وهي: ( $\theta_s$ ) المحتوى الرطوبي الحجمي المشبع للتربة، ( $\theta_r$ ) المحتوى الرطوبي الحجمي المتبقي للتربة، ( $\alpha$ ) و ( $n$ ) وهما قيمتان تتعلقان بتوزيع حجوم مسام التربة، ( $k_s$ ) التوصيل الهيدروليكي المشبع للتربة (سم/دقيقة). تسمح مخرجات البرنامج برسم منحنى إحتفاظ التربة بالماء باستخدام معادلة Van Genuchten السابقة. ويهدف تبسيط عملية المحاكاة تمّ الإقتصار فقط في هذه الدراسة على الأنواع الثلاثة الأولى من المدخلات ثم جرى مقارنة هذه المنحنيات الناتجة (منحنيات المحاكاة) مع المنحنى التجريبي لكل عينة تربة. ويمثل الجدول (2) المدخلات (Inputs) المستخدمة في عملية المحاكاة.

الجدول 2 أنواع المدخلات (Inputs) الثلاثة المستخدمة في البرنامج Hydrus

نوع المدخلات					رقم العينة
مدخلات (3) التركيب الميكانيكي (SSC) + الكثافة الظاهرية ( $\rho_b$ )				مدخلات (1)	
مدخلات (2) مكونات التركيب الميكانيكي (SSC) (%)					
$\rho_b^*$ (غرام/سم <sup>3</sup> )	رمل	السلت	الطين	قوام التربة	
0.97±0.02	26.73	23.73	49.54	طيني	1
0.92±0.01	27.50	23.05	49.45	طيني	2
0.92±0.02	29.82	25.93	44.25	طيني	3
0.94±0.03	37.70	22.87	39.43	طيني لومي	4
0.97±0.01	44.08	21.94	33.98	طيني لومي	5
1.02±0.02	53.27	20.91	25.82	رمل طيني لومي	6
1.13±0.01	63.47	14.29	22.24	رمل طيني لومي	7
1.00±0.03	46.33	15.69	37.98	رمل طيني	8

(\* الكثافة الظاهرية ( $\rho_b$ ) تمثل متوسط ثلاثة مكرارات ± الانحراف المعياري

يتوزع قوام التربة للعينات المدروسة في أربعة مجموعات مختلفة هي: قوام طيني للعينات (1، 2، 3)، قوام طيني لومي للعينتين (4، 5)، وقوام رمل طيني لومي للعينتين (6، 7) وقوام رمل طيني للعبنة (8).

## - الدراسة الإحصائية:

تمّ تقييم فاعلية البرنامج Hydrus وكفائه في عملية المحاكاة من خلال حساب قيمة جذر متوسط مربع الخطأ RMSE (Root Mean Square Error) والذي يُعطى بالعلاقة التالية (Dagnelie، 1975):

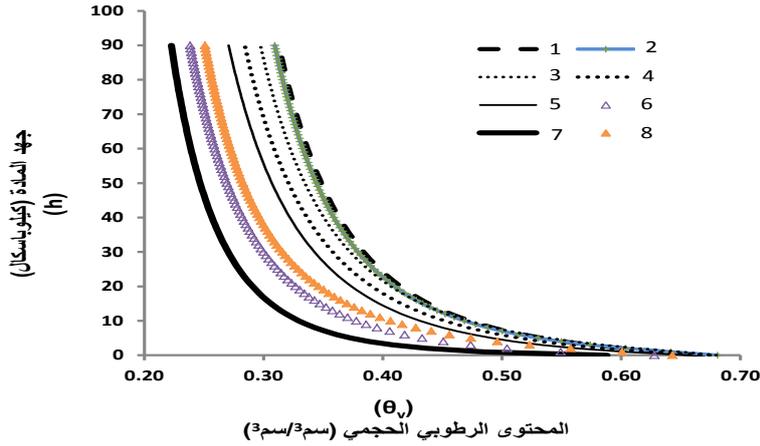
$$(5) \text{ RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\theta_{vp} - \theta_{vm})^2}{N}}$$

حيث يمثل  $\theta_{vm}$  المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة المقاس تجريبياً في المخبر عند جهد مادة ( $h$ ) معين، بينما يمثل  $\theta_{vp}$  المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة المحسوب باستخدام معادلة Van Genuchten المعطاة من قبل البرنامج، ويمثل  $N$  عدد قيم  $\theta_v$  المقاسة لكل عينة تربة.

## النتائج والمناقشة

### 1- منحنيات إحتفاظ التربة بالماء التجريبية:

يبين الشكل (1) منحنيات إحتفاظ التربة بالماء التي تمّ الحصول عليها تجريبياً في المخبر لعينات التربة الثمانية. (يوضح الملحق 1 مقارنة بين المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة المقاس تجريبياً وذلك المحسوب من خلال معادلة Van Genuchten لكل العينات المدروسة).



الشكل 1 المنحنيات التجريبية لإحتفاظ التربة بالماء للعينات المدروسة.

ويُلاحظ من الشكل (1) اختلافاً واضحاً بين منحنيات إحتفاظ التربة بالماء للعينات المدروسة، ويعود هذا الاختلاف إلى إختلاف خواص الترب المدروسة وبشكل أساسي تركيبها الميكانيكي (Van Genuchten، 1980). حيث يزداد إحتفاظ التربة بالماء مع زيادة محتواها من الطين، وتُعد العينة (1) أكثر الترب المدروسة إحتفاظاً بالماء حيث تحتوي على أعلى نسبة من الطين (49.54%). في حين تعد العينة (7) أقل هذه الترب قدرةً على الإحتفاظ بالماء بسبب إنخفاض محتواها من الطين (22.24%) وإحتوائها على أعلى كمية من الرمل (63.47%)، يليها العينة (6) والعينة (8) بنسب رمل تبلغ (53.27% ، 46.33%) على التوالي.

ويُلاحظ من الشكل أيضاً إرتفاع المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند الإشباع ( $\theta_s$ ) لكل عينات التربة المدروسة، حيث تراوح بين 0.588 و 0.681 سم<sup>3</sup>/سم<sup>3</sup>، ويعود سبب هذا الإرتفاع النسبي للمحتوى الرطوبي إلى طبيعة عينات التربة المدروسة فهي ترب متجانسة

( $2\text{mm} <$ ) ومهدمة البناء وذات كثافة ظاهرية منخفضة تبلغ بالمتوسط 1 غرام/سم<sup>3</sup>. من ناحية أخرى، قد يكون إحتواء عينات التربة على أنواع من الطين القابل للإنتفاخ سبباً لزيادة محتواها من الماء.

## 2- منحنيات إحتفاظ التربة بالماء حسب برنامج المحاكاة Hydrus:

يمكن تلخيص متغيرات (parameters) معادلة Van Genuchten ( $n, \alpha, \theta_s, \theta_r$ ) الناتجة عن عملية المحاكاة لأنواع المدخلات الثلاثة في الجدول (3). حيث يُلاحظ من هذا الجدول إختلاف هذه المتغيرات عن بعضها البعض تبعاً لنوع التربة ونوع المدخلات. بالنسبة للمدخلات (1) يُلاحظ تماثل قيم المتغيرات ( $n, \alpha, \theta_s, \theta_r$ ) لعينات التربة التي تتماثل في قوامها مثل العينات (1، 2، 3) والعينتين (4، 5) والعينتين (6، 7). وبالنسبة للمدخلات (2) تختلف هذه المتغيرات عن بعضها البعض بإختلاف محتوى التربة من الطين والسلت والرمل (SSC). ويعزى إختلاف المتغيرات في المدخلات (3) إلى إختلاف الكثافة الظاهرية للتربة بالإضافة إلى إختلاف تركيبها الميكانيكي. كما يُلاحظ ارتفاع قيم المتغيرات ( $n, \theta_s, \theta_r$ ) في المدخلات (3) مقارنة مع المدخلات (2) ويرجع هذا إلى الدور الهام الذي تلعبه الكثافة الظاهرية في تقدير محتوى التربة من الماء (Šimůnek وزملاؤه، 1996).

الجدول 3 متغيرات معادلة Van Genuchten ( $n, \alpha, \theta_s, \theta_r$ ) الناتجة عن أنواع المدخلات الثلاثة.

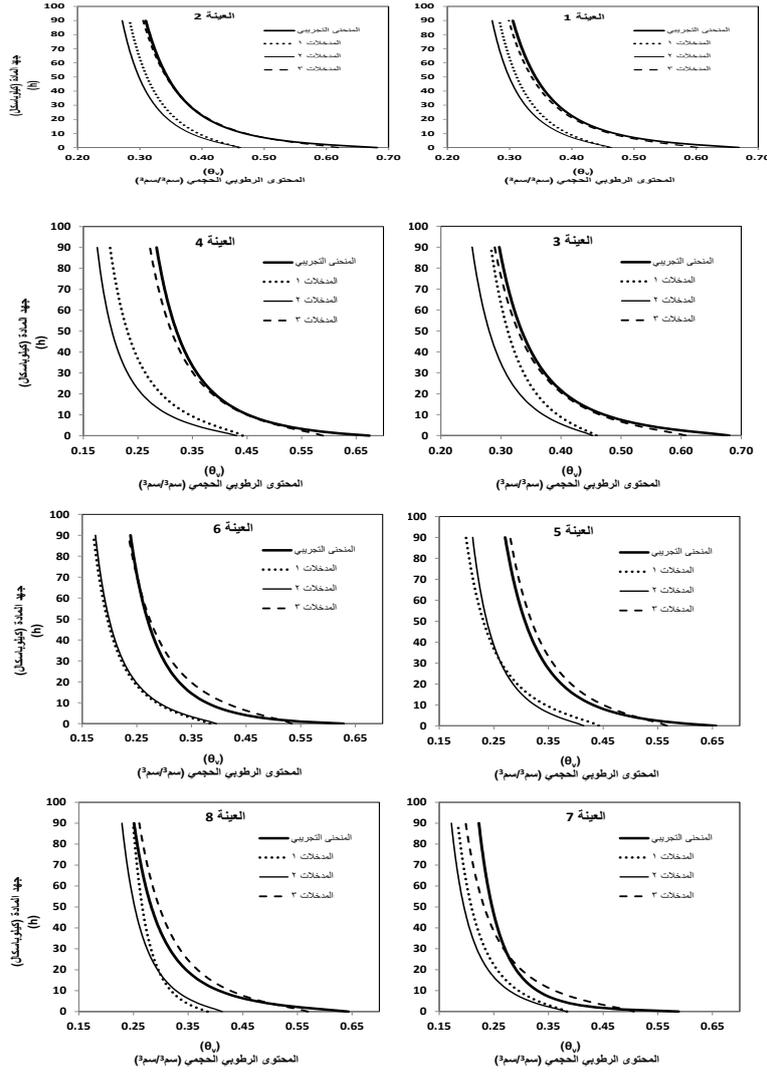
متغيرات V.G حسب نوع المدخلات												رقم العينة
3				2				1				
الكثافة الظاهرية + مكونات القوام				مكونات القوام				قوام التربة				
$\theta_r$	$\theta_s$	$\alpha$	n	$\theta_r$	$\theta_s$	$\alpha$	n	$\theta_r$	$\theta_s$	$\alpha$	n	
0.109	0.602	0.024	1.31	0.093	0.464	0.020	1.25	0.098	0.459	0.015	1.25	1
0.111	0.619	0.025	1.31	0.092	0.462	0.020	1.25	0.098	0.459	0.015	1.25	2
0.107	0.608	0.022	1.34	0.090	0.452	0.018	1.28	0.098	0.459	0.015	1.25	3
0.099	0.581	0.017	1.39	0.085	0.431	0.021	1.29	0.079	0.414	0.021	1.31	4
0.094	0.567	0.018	1.39	0.079	0.414	0.021	1.31	0.079	0.414	0.021	1.31	5
0.080	0.534	0.017	1.42	0.069	0.396	0.023	1.34	0.063	0.384	0.021	1.33	6
0.072	0.506	0.022	1.41	0.062	0.383	0.028	1.33	0.063	0.384	0.021	1.33	7
0.098	0.569	0.022	1.35	0.081	0.413	0.025	1.26	0.117	0.385	0.033	1.21	8

3- المقارنة بين منحنيات إحتفاظ التربة بالماء التجريبية وتلك الناتجة عن عملية

المحاكاة :

يبين الشكل (2) مقارنة بين المنحنى التجريبي لإحتفاظ التربة بالماء والمنحنيات الثلاثة التي نتجت عن عملية المحاكاة باستخدام البرنامج Hydrus بمدخلاته الثلاثة المختلفة وذلك من أجل كل عينة من عينات التربة المدروسة.

## تقييم البرنامج Hydrus في التنبؤ بمنحنى إحتفاظ التربة بالماء



الشكل 2 مقارنة بين منحنى احتفاظ التربة بالماء التجريبي ومنحنيات المحاكاة الثلاثة الناتجة عن البرنامج Hydrus بمدخلاته الثلاثة وذلك من أجل كل عينة من عينات التربة المدروسة.

ويُشير الشكل (2) بصورة عامة إلى وجود تباعد كبير بين المنحنى التجريبي والمنحنيين الناتجين عن المحاكاة باستخدام المدخلات (1) و (2) وذلك بالنسبة لكل عينات التربة المدروسة ويشكل خاص في العينات (4، 5، 6). وهذا التباعد يعود بطبيعة الحال إلى ضعف عملية المحاكاة بسبب اعتمادها فقط إما على قوام التربة في حالة المدخلات (1) أو على النسب المئوية لمحتوى التربة من الرمل والصلت والطين في حالة المدخلات (2). وهذه المدخلات لا تُعد كافية لوحدها من أجل الحصول على منحنى يقارب المنحنى التجريبي، ونتج عن هذه المحاكاة قيمة مرتفعة نسبياً لجذر متوسط الخطأ التربيعي (RMSE) الذي يتراوح بين 0.045 و 0.100 سم<sup>3</sup>/سم<sup>3</sup> وبين 0.057 و 0.128 سم<sup>3</sup>/سم<sup>3</sup> بالنسبة للمدخلات (1) و(2) على التوالي كما يشير الجدول (4).

الجدول 4 قيم جذر متوسط الخطأ التربيعي RMSE لعينات التربة.

RMSE (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )			رقم العينة
نوع المدخلات			
3	2	1	
0.012	0.064	0.056	1
0.009	0.067	0.058	2
0.013	0.077	0.056	3
0.014	0.128	0.100	4
0.017	0.087	0.084	5
0.018	0.08	0.084	6
0.022	0.057	0.045	7
0.018	0.06	0.062	8
<b>0.015</b>	<b>0.078</b>	<b>0.068</b>	المتوسط العام

تبين النتائج كذلك أن أقرب منحنيات المحاكاة الثلاثة إلى المنحنى التجريبي هو ذلك المنحنى الناتج عن المدخلات (3) وذلك بعد استخدام قيم الكثافة الظاهرية للتربة ( $\rho_b$ ) في عملية المحاكاة، مما قاد إلى انخفاض قيمة الخطأ RMSE بشكل واضح وزيادة التقارب بين المنحنى التجريبي ومنحنى المحاكاة عند جميع عينات التربة المدروسة. وهذا يدل على أهمية الكثافة الظاهرية في تحديد شكل المنحنى لدورها في توزيع نسب

حجوم مسام التربة من جهة ودورها في الخاصة الشعرية من جهة أخرى، وتفاوتت مستوى التقارب في حالة المدخلات (3) بين تطابق شبه كامل بين المنحنيين كما في العينات (1، 2، 3، 4) وبمقدار خطأ RMSE صغير نسبياً بلغ بالمتوسط  $0.012 \text{ سم}^3/\text{سم}^3$ ، والعينات (5، 6، 8) بمقدار خطأ بلغ بالمتوسط  $0.017 \text{ سم}^3/\text{سم}^3$ ، وبين تقارب جيد كما في العينة (7) مع خطأ بلغ بالمتوسط  $0.022 \text{ سم}^3/\text{سم}^3$ ، وبلغ هذا الخطأ كمتوسط عام لجميع العينات المدروسة على إختلاف تركيبها الميكانيكي  $0.015 \text{ سم}^3/\text{سم}^3$  (الجدول 4). لا يُعد هذا الخطأ ( $\text{RMSE} = 0.015 \text{ سم}^3/\text{سم}^3$ ) كبيراً في مجال دراسات فيزياء التربة فهو يبقى أقل من الخطأ الناتج عن قياس المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة باستخدام طريقة المقاومة الكهربائية للتربة الذي يبلغ  $0.030 \text{ سم}^3/\text{سم}^3$  (Srayeddin و Doussan، 2009)، بينما هو أكبر من ذلك الخطأ الناتج عن استخدام طريقة المسبار النتروني والذي يبلغ  $0.012 \text{ سم}^3/\text{سم}^3$  (Evet and Steiner، 1995)، وهو أقل من الخطأ الذي وجده Al majou وزملاؤه (2008)  $0.033 \text{ سم}^3/\text{سم}^3$  خلال محاكاته لقياس محتوى التربة الرطوبي الحجمي لعينات تربة غير مخزّبة ومختلفة التركيب الميكانيكي والبناء باستخدام نموذج Van Genuchten. يمكن أن يعود سبب هذا التباعد بين المنحنى التجريبي ومنحنى المحاكاة في بعض عينات التربة إلى إعتقاد المحاكاة فقط على قيم الرمل والسلت والطين والكثافة الظاهرية فقط دون استخدام متوسط المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية (TH33) أو نقطة الذبول الدائمة (TH1500)، أو إلى إختلاف طريقة التحليل الميكانيكي للتربة، حيث يعتمد البرنامج Hydrus في محاكاته على نسب التركيب الميكانيكي الناتجة عن استخدام طريقة الماصة، أمّا في هذه الدراسة أُتبعت طريقة الهيدروميتر. قد يقود إختلاف طريقة التحليل إلى إختلاف نسب مكونات التربة من الرمل والسلت والطين ومنه إلى إختلاف مخرجات البرنامج. بينت النتائج وجود underestimation أي انخفاض في تقدير المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند الإشباع ( $\theta_s$ ) في منحنى المحاكاة الناتج عن المدخلات (3) مقارنة مع المنحنى التجريبي وذلك عند كل عينات التربة المدروسة. ويلخص

الجدول (5) الفروق ( $\Delta\theta_s$ ) بين المنحنى التجريبي ومنحنيات المحاكاة الثلاثة للعينات المدروسة. يشير هذا الجدول إلى ارتفاع ( $\Delta\theta_s\%$ ) في منحنى المحاكاة (1+2) حيث تراوحت بين 31.3-40.1% و 30.5-36.9% على التوالي، وبمتوسط عام بلغ 34.6% لكلا المنحنيين. بينما انخفضت في منحنى المحاكاة (3) لتتراوح بين 9.1 و 15% وبمتوسط عام بلغ 12%.

الجدول 5 الفروق ( $\Delta\theta_s\%$ ) بين المنحنى التجريبي ومنحنى المحاكاة لعينات التربة

$\Delta\theta_s\%$	$\Delta\theta_s$	المحتوى الرطوبي الحجمي عند الإشباع ( $\theta_s$ ) (سم <sup>3</sup> /سم <sup>3</sup> )		رقم العينة
		منحنى المحاكاة (حسب المدخلات) (1)	المنحنى التجريبي	
31.3	0.209	0.459	0.668	1
32.6	0.222	0.459	0.681	2
32.5	0.221	0.459	0.680	3
34.4	0.232	0.442	0.674	4
32.6	0.214	0.442	0.656	5
38.9	0.244	0.384	0.628	6
34.7	0.204	0.384	0.588	7
40.1	0.258	0.385	0.643	8
34.6	0.226	المتوسط العام		
$\Delta\theta_s\%$	$\Delta\theta_s$	منحنى المحاكاة (حسب المدخلات) (2)	المنحنى التجريبي	رقم العينة
30.5	0.204	0.464	0.668	1
32.2	0.219	0.462	0.681	2
33.5	0.228	0.452	0.680	3
36.1	0.243	0.431	0.674	4
36.9	0.242	0.414	0.656	5
36.9	0.232	0.396	0.628	6
34.9	0.205	0.383	0.588	7
35.8	0.23	0.413	0.643	8
34.6	0.225	المتوسط العام		
$\Delta\theta_s\%$	$\Delta\theta_s$	منحنى المحاكاة (حسب المدخلات) (3)	المنحنى التجريبي	رقم العينة
9.9	0.066	0.602	0.668	1
9.1	0.062	0.619	0.681	2
10.6	0.072	0.608	0.680	3

تقييم البرنامج Hydrus في التنبؤ بمنحنى إحتفاظ التربة بالماء

12.6	0.085	0.589	0.674	4
13.6	0.089	0.567	0.656	5
15.0	0.094	0.534	0.628	6
13.9	0.082	0.506	0.588	7
11.5	0.074	0.569	0.643	8
12.0	0.078			المتوسط العام

أي عند إجراء المحاكاة باستخدام البرنامج Hydrus وبالاعتماد على المدخلات (3) لترت مخرية البناء سوف تنخفض قيمة المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند الإشباع ( $\theta_s$ ) في منحنى المحاكاة بمقدار 12% عن قيمتها الحقيقية.

قد يُعزى سبب وجود هذه الفروق في قيم  $\theta_s$  إلى طبيعة عينات التربة، حيث أُستخدمت في هذه الدراسة عينات تربة متجانسة ومهدمة البناء لا تمثل التربة في توضعها الطبيعي في الحقل. إذ من السهل التعامل مخبرياً مع التربة المتجانسة، ولكنها لا تعبر فعلياً عن خواص التربة الحقيقية التي تمثلها في الحقل. حيث يلعب الإختلاف في حجوم مسام التربة وفي نسب توزعها دوراً كبيراً في قدرة التربة على الإحتفاظ بالماء (Hillel، 1998)، ويتعلق شكل المنحنى في المنطقة المشبعة أو القريبة من الإشباع ببناء التربة وخاصيتها الشعرية أكثر من ارتباطه بقوامها (Van Genuchten، 1980).

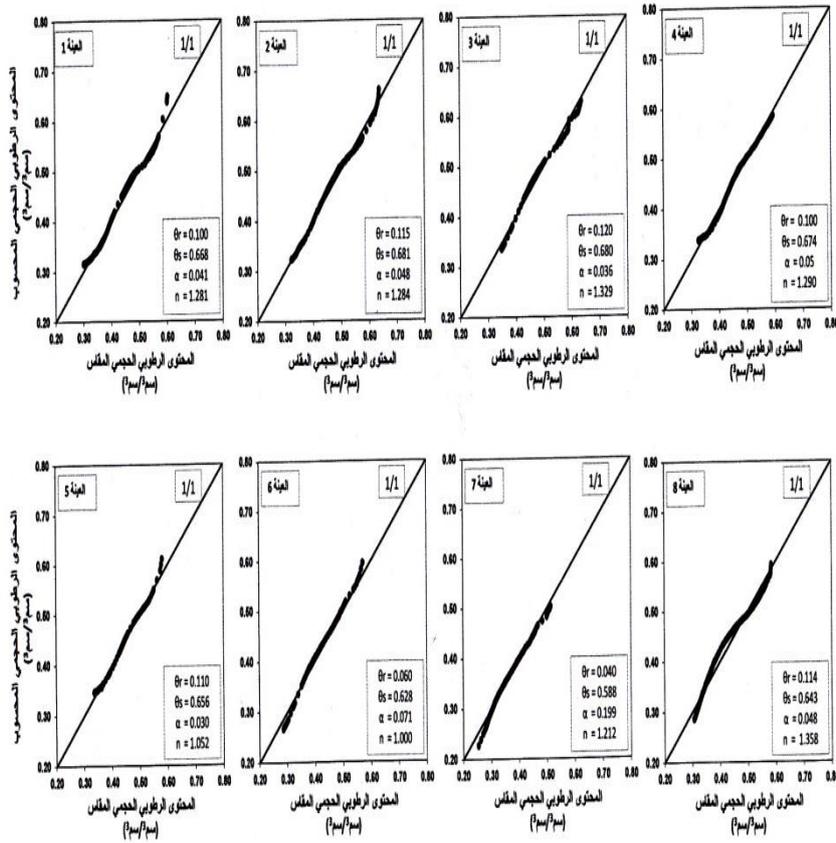
وسبب إنخفاض قيم الكثافة الظاهرية لعينات التربة زيادةً في مسامية التربة وبالتالي ارتفاعاً في قيم  $\theta_s$ ، وإختلاف  $\theta_s$  بين المنحنى التجريبي ومنحنى المحاكاة قد قاد إلى تباعد بين هذين المنحنيين وبشكل خاص في المجال المشبع والقريب من الإشباع لمحتوى التربة الرطوبي، وهذا يشبه إلى حد كبير النتيجة التي توصل إليها Al majou وزملاؤه (2007) على عينات تربة غير مخربة وباستخدام نموذج Van Genuchten، حيث وجدوا أن أكبر إنحراف معياري في تقدير المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة قد وقع في المجال المشبع والقريب من الإشباع إذ بلغ 0.044 سم<sup>3</sup>/سم<sup>3</sup>، بينما إنخفض إلى 0.032 في مجال الرطوبة القريب من نقطة الذبول الدائمة.

### الاستنتاجات

- بينت النتائج وجود تباعد متفاوت بين المنحنى التجريبي ومنحنى المحاكاة باستخدام ثلاثة أنواع من المدخلات.
- كما أشارت النتائج إلى أن أفضل هذه المنحنيات كانت تلك الناتجة عن استخدام النسب المئوية لكل من الرمل والسلت والطين (SSC) وقيم الكثافة الظاهرية للتربة (المدخلات 3) والتي ترافقت مع خطأ RMSE بلغ  $0.015 \text{ سم}^3/\text{سم}^3$  كمتوسط عام للعينات المدروسة على إختلاف تركيبها الميكانيكي. بينما ارتفع الخطأ RMSE ليلغ  $0.068$  و  $0.078$  في حالة المدخلات (1) والمدخلات (2) على التوالي.
- كما بينت النتائج وجود إنخفاض في تقدير المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند الإشباع  $\theta_s$  في منحنيات المحاكاة الناتجة مقارنة مع المنحنى التجريبي. وكان أقل هذه الفروق في منحنى المحاكاة (3) حيث بلغ المتوسط العام للفروق  $(\Delta\theta_s\%)$  لكل عينات التربة المدروسة  $12\%$ .
- تفيد النتائج بشكل عام أنه يمكن الإعتماد على Hydrus من أجل التنبؤ بمنحنى إحتفاظ التربة بالماء باستخدام النسب المئوية لكل من الرمل والسلت والطين وقيم الكثافة الظاهرية، ولكن يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار قيمة الخطأ RMSE والفروق في المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند الإشباع  $(\theta_s)$ .
- ويمكن معالجة هذا الفرق باستخدام عامل تصحيح يسمح بتصحيح قيم  $(\theta_s)$  لعينات التربة المدروسة. ومن المحتمل الحصول على نتائج أفضل باستخدام Hydrus وتقليل قيمة RMSE وذلك من خلال استخدام المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة عند السعة الحقلية  $(TH_{33})$  أو نقطة الذبول الدائمة  $(TH_{1500})$  كمدخلات للبرنامج، أو عند استخدام عينات تربة غير مهدمة البناء تُدرس بخواصها الطبيعية التي تتمتع بها ضمن ظروف الحقل.

(الملحق 1 مقارنة بين المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة المقاس تجريبياً وذلك المحسوب من خلال

معادلة Van Genuchten)



**(References) المراجع**

- Al Majou H., Bruand A., Duval O., Cousin I., 2007 - Variation of the water retention properties of soils : validity of class-pedotransfer functions. C.R. Geoscience, 339, pp. 632-639.
- Al Majou H., Bruand A., Duval O., Le Bas C., Vautier A., 2008 - Prediction of soil water retention properties after stratification by combining texture, bulk density and the type of horizon. Soil Use and Management, vol. 24, n° 4, pp. 383-391.
- Arya, L.M., and J.F. Paris. 1981. A physioempirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density data. Soil Sci. Soc. Am. J. 45:1023-1030.
- Belmans, C., J. G. Wesseling and R. A. Feddes, 1983. Simulation model of the water balance of a cropped soil: SWATRE, J. Hydrol., 63, 271- 286.
- Dagnelie, P. 1975. Théorie et méthodes statistiques (Book). Vol 2. Chapter 13.
- Day, P.R. 1965. Particle fractionation and particle size analysis. (Book) p. 545-567. In C.A. Black et al. (ed.) Methods of soil analysis, Part I. Agronomy 9: 54-567.
- Eching, S. O., and J. W. 1993. Hopmans, Optimization of hydraulic functions from transient outflow and soil water pressure data, Soil Sci. Soc. Am. J. 57, 1167-1175.
- Evelt, S.R. and Steiner, J. L. 1995. Precision of neutron scattering and capacitance type soil water content gauges from field calibration. Soil. Soc. Am. J. 59:961-968.
- Hillel, D. 1998. Environmental soil physics (Book), chapter 7: Flow of water in saturated soil, P: 173-201.
- Ngoc MN, Dultz S, Kasbohm J ,2009. Simulation of retention and transport of copper, lead and zinc in a paddy soil of the Red River Delta, Vietnam. Agric Ecosyst Environ 129:8-16
- Nikodem A, Kodešová R, Drábek O, Bubeníčková L, Borůvka L, Pavlů L, Tejnecký V ,(2010. A Numerical study of the impact of

- precipitation redistribution in a beech forest canopy on water and aluminum transport in a podzol. *Vadose Zone J* 9:238–251
- Pansu, M. 2006. Handbook of soil analysis. Chapter 10. P: 327-367.
- Rawls, W.J., D.L. Brakensiek, and K.E. Saxton. 1982. Estimation of soil water properties. *Trans. ASAE* 25:1316-1320.
- Schaap M.G., Leij F.J., and van Genuchten M.Th., 2001. ROSETTA: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. *J. Hydrol.*, 251:163-176.
- Šimůnek J, Hopmans JW, 2009. Modeling compensated root water and nutrient uptake. *Ecol Model* 220:505–521
- Šimůnek J, van Genuchten MT, Šejna M ,2008. Developmental and applications of the HYDRUS and STANMOD Software Packages and Related Codes. *Vadose Zone J* 7:587–600
- Šimůnek, J., D. L. Suarez, and M. Šejna, 1996. The UNSATCHEM software package for simulating one-dimensional variably saturated water flow, heat transport, carbon dioxide production and transport, and multicomponent solute transport with major ion equilibrium and kinetic chemistry, Version 2.0, Research Report No. 141, U.S. Salinity Laboratory, USDA, ARS, Riverside, California, 186pp.
- Šimůnek, J., M. Šejna, and M. Th. van Genuchten, 1998a. The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably- saturated media, Version 2.0. IGWMC - TPS - 70, International Ground Water Modeling Center, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, 162pp.
- Šimůnek, J., O. Wendroth, and M. Th. van Genuchten, 1998b. A parameter estimation analysis of the evaporation method for determining soil hydraulic properties, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62(4), 894-905.
- Šimůnek, J., M.Th . van Genuchten, and M. Šejna. 2005. Th e HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. Version 3.0. HYDRUS Software Ser. 1. Dep. of Environmental Sciences, Univ. of California, Riverside.
- Srayeddin, I, and Doussan, C , 2009. Estimation of the spatial variability of root water uptakeof maize and sorghum at the field scale by electrical resistivity tomography. *Plant Soil* . 319:185–207

- Tamari S, Bruckler L, Halbertsma J, and Chadoeuf J, 1993. A simple method for determining soil hydraulic properties in the laboratory. *Soil Sci. Am. J.* 57, 642-651.
- Trakal L, Radka K, Michael K, 2012. Modelling of Cd, Cu, Pb and Zn transport in metal contaminated soil and their uptake by willow (*Salix × smithiana*) using HYDRUS-2D program.
- Van Genuchten, M. Th., 1978. Mass transport in saturated-unsaturated media: one-dimensional solutions, Research Rep. No. 78-WR-11, Water Resources Program, Princeton Univ., Princeton, NJ.
- Van Genuchten, M. Th., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44, 892-898.
- Van Genuchten, M. Th., 1985. Convective-dispersive transport of solutes involved in sequential first-order decay reactions, *Computers & Geosciences*, 11(2), 129-147.
- William, A. J. 1991. *Soil Physics*. (Book) fifth edition. Chapter 1. P: 1-32.
- Wind, G. P. 1969. Capillary conductivity data estimated by a simple method. In *Water in the unsaturated zone*. Eds. P E Rijtema and H.Wassink (ed) *Water in the unsaturated zone Vol.1.proc. Wageningen Symp. June. Int. Assoc of Scientific Hydrol., gentbrugge/UNESCO, Paris.*

تاريخ ورود البحث: 2015/7/23

تاريخ قبول البحث: 2016/4/28