

ỨNG DỤNG CỦA PHƯƠNG PHÁP THỂ TÍCH HỮU HẠN CHO MÔ HÌNH THẨM KHÔNG BẢO HÒA TRONG MÔI TRƯỜNG ĐẤT DO VÒI TƯỚI NHỎ GIỌT

Vũ Chí Công¹
Bùi Quốc Lập²

Tóm tắt: Phương pháp thể tích hữu hạn mô hình hóa sự phát triển miền thẩm trong đất theo thời gian dưới tác dụng của vòi tưới nhỏ giọt dạng điểm được trình bày trong bài này. Mô hình thẩm dựa trên phương trình Richard cho hệ tọa độ trụ. Kết quả bài toán - độ ẩm trong đất được xác định một cách nhanh chóng dựa trên những ưu điểm của phương pháp thể tích hữu hạn, bao gồm việc sai phân không phức tạp và tốc độ tính toán nhanh chóng. Các loại đất bao gồm cát mịn, đất thịt pha cát, cát pha thịt và đất thịt pha sét là đối tượng nghiên cứu. Sự phát triển của miền thẩm bởi mô hình được kiểm chứng với kết quả nghiên cứu đã có và kết quả thí nghiệm. Kết quả mô hình thể hiện sự phù hợp giữa tính toán trong mô hình và kết quả của nghiên cứu đã có cũng như kết quả thí nghiệm cho các loại đất nêu trên.

Từ khóa: Phương pháp thể tích hữu hạn, Mô hình thẩm, Môi trường đất

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Dự báo chuyển động của nước trong đất không bão hòa là vấn đề nghiên cứu của nhiều ngành khoa học như khoa học đất, kỹ thuật nông nghiệp, kỹ thuật môi trường và địa chất thủy văn. Hầu hết các nghiên cứu đều dựa trên phương trình cơ bản Richard. Trong lĩnh vực mô hình thẩm không bão hòa trong đất do vòi tưới nhỏ giọt, nhiều mô hình số đã được phát triển. Đối với phương pháp giải tích, mô hình đơn giản hóa dạng bán cầu cho thẩm không bão hòa dạng ổn định do vòi tưới nhỏ giọt dạng đường/điểm được sử dụng dựa trên giả định miền thẩm dạng bán cầu và nghiệm tuyến tính. Mô hình này được phát triển bởi A. N. Angelakis, (1993), Bresler (1977), Warrick (1973) và Phillip (1971). Tuy nhiên, có những tồn tại của mô hình bao gồm nhiều giả định như không tồn tại lớp nước bề mặt, dòng chảy ổn định và quan hệ lũy thừa giữa áp lực nước và hệ số thẩm để tuyến tính hóa phương trình Kirchoff. Với trường phái dòng chảy phi tuyến, chỉ có các phương pháp số mới đáp ứng được yêu cầu phù hợp giữa thực tế/thí nghiệm và kết

quả mô hình. Heally và Warrick (1988) đã thành công trong mô hình thẩm không bão hòa trong đất do vòi tưới nhỏ giọt bằng ứng dụng phương pháp sai phân hữu hạn cho phương trình Richard biến thể không đơn vị. Từ thành công này, tác giả đã xây dựng công thức kinh nghiệm cho phân bố ẩm trong đất. Dù sao, sự ứng dụng vẫn còn phức tạp bởi kết quả tính toán ở dạng độ ẩm không đơn vị. Giá trị thực của độ ẩm phải được tính toán thêm một bước tiếp theo. Mô hình của Elmaloglou and Malamos sử dụng thuật toán ADI cũng đã thành công trong kết quả nghiên cứu với giả định về điều kiện ban đầu của độ ẩm cũng như có điều kiện tồn tại lớp nước trên bề mặt đất. Gần đây nhất, nhóm tác giả của Aristotle University of Thessaloniki (2001) đã ứng dụng phương pháp thể tích hữu hạn cho đất không đồng nhất nhưng đáng tiếc chỉ giới hạn cho bài toán một chiều.

Trong nghiên cứu này, phương pháp thể tích hữu hạn đã được ứng dụng cho mô hình hai chiều dưới tác dụng của vòi tưới nhỏ giọt, mô hình hóa thẩm trong đất không bão hòa. Mô hình có kể đến xử lý đường biên thẩm ngang trên bề mặt cho đất đồng nhất và điều kiện ban đầu tự do của độ ẩm. Để mô tả dòng chảy không bão hòa, phương trình Richard phi tuyến cũng

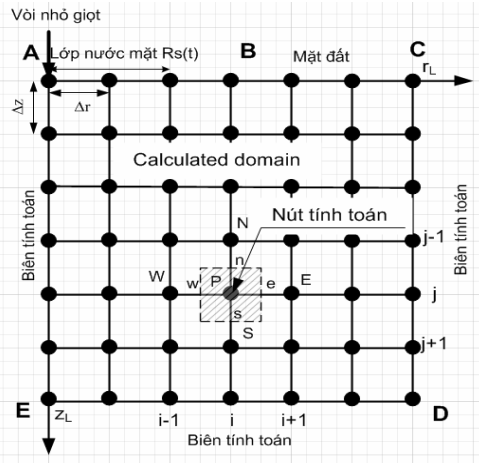
¹ Công Ty Archipelago Resources Plc.

² Đại học Thủy lợi

được sử dụng với các điều kiện biên bao gồm bảo toàn khối lượng nước kết hợp với định luật Darcy cho đất đồng nhất, nước không nén được, không có hiện tượng trễ trong chuyển động thấm, áp lực không khí và nhiệt độ trong đất không đổi và không có hóa chất đi kèm trong quá trình thấm.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIỆM CỨU

Hình 1 mô tả lưới tính toán hai chiều. Vùng bão hòa trên bề mặt đất tại thời điểm ban đầu do vòi tưới nhỏ giọt là $R_s(0)$. Theo thời gian vòi tưới của vòi tưới, miền thấm được phát triển theo 2 chiều ngang và sâu theo các trục x và z tương ứng. Do kích thước lưới tính toán nhỏ nên độ ẩm tại các biên được giả định có độ biến thiên không đổi. Ngoài ra, do tính chất đồng nhất của đất và tính đối xứng theo tọa độ trụ, mô hình ba chiều có thể được thể hiện bởi mô hình hai chiều.



Hình 1. Lưới tính toán và định hướng sai phân

Phương trình mô phỏng

Theo tính chất bảo toàn khối lượng, phương trình Richard kết hợp với định luật Darcy cho dòng thấm không bão hòa trong đất đồng nhất với hệ tọa độ trụ được mô tả như sau:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(rD \frac{\partial \theta}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) - \frac{\partial K}{\partial z} - S(r, z, h) \quad (1)$$

Trong đó: θ : độ ẩm (L^3/L^3); r và z : các thành phần tọa độ; z có chiều dương hướng xuống; D : hệ số khuếch tán (L^2/T); K : Hệ số thấm không bão hòa (L/T); t : Thời gian (T); $S(r, z, h)$: hàm

số biểu thị sự hút nước của rễ cây.

Điều kiện ban đầu

Độ ẩm tại thời điểm ban đầu, trước khi tưới nhỏ giọt được giả định đồng nhất.

$$\theta(r, z, t = 0) = \theta_0$$

Điều kiện biên

Theo tự nhiên, khi lưu lượng tưới vượt quá khả năng thấm của đất, một lớp nước mỏng trên bề mặt đất được hình thành và phát triển rộng theo thời gian. Yếu tố này ảnh hưởng đến kích thước miền thấm. Vì vậy, điều kiện biên được chia làm hai giai đoạn:

Giai đoạn 1: Nước thấm trực tiếp từ vòi tưới vào đất với lưu lượng ban đầu q_0 và bán kính ướt $R_s(0)$. Đất được làm ẩm từ trạng thái khô ban đầu, tiến dần tới trạng thái bão hòa.

Giai đoạn 2: Sau thời gian t_1 , khi lưu lượng q_0 vượt quá khả năng thấm của đất, bán kính ướt $R_s(0)$ nhanh chóng bão hòa và phát triển rộng dần theo thời gian. Vì vậy, bán kính bão hòa tăng dần.

Bề mặt đất tại giai đoạn 1

Giả định mô hình không được bổ sung bởi mưa, điều kiện biên cho bề mặt đất trong bán kính bão hòa $R_s(0)$ được mô tả bởi:

$$q = -D \frac{\partial \theta}{\partial z} = q_0 - E_0 \quad (z = 0, r \in WF(t), 0 \leq t \leq t_1)$$

t_1 , q_0 là lưu lượng vòi tưới nhỏ giọt, WF : bán kính bão hòa tại bề mặt đất tại thời điểm t .

$q = -E_0$ ($z = 0, r \notin WF(t), 0 \leq t \leq t_1$); E_0 : lượng bốc hơi của đất.

Tại các biên của lưới tính toán (hai biên và đáy) của giai đoạn 1, giá trị θ (độ ẩm) là không đổi hay nói cách khác, lưu lượng tại các biên bằng không. Điều kiện biên được mô tả bởi

$$D \frac{\partial \theta}{\partial r} = 0 \quad (r = 0 \text{ hoặc } r = r_L, 0 \leq t \leq t_1, z > 0)$$

$$D \frac{\partial \theta}{\partial z} = 0 \quad (z = z_L, 0 \leq t \leq t_1)$$

Trong đó r_L và z_L là khoảng cách xa nhất của lưới theo hai chiều rộng và sâu tương ứng.

Bề mặt đất tại giai đoạn 2:

Tại những thời điểm này ($t > t_1$), bán kính bão hòa $R_s(t)$ phát triển theo thời gian. Với giả định áp lực thấm do lớp nước mỏng mặt đất được bỏ qua, điều kiện biên được viết:

$$\theta = \theta_s \quad (z = 0, r \in \text{WF}(t), t > t_1)$$

$$q = -E_0 \quad (z = 0, r \notin \text{WF}(t), t > t_1)$$

Tại các biên của lưới tính toán, điều kiện biên thể hiện như giai đoạn 1. Tuy nhiên, điều kiện cân bằng khối lượng nước được bổ sung cho giai đoạn này để mô tả sự phát triển của bán kính bão hòa $R_s(t)$ tại bề mặt đất:

Nguyên tắc: Khối lượng nước từ vòi tưới nhỏ giọt phải bằng tổng lượng nước đã thấm (và bốc hơi nếu kể đến). Tại khối lượng đất đã được thấm, lượng nước thấm cho mỗi khối lượng đất ($rdr \times dz \times \varphi$) được tính bằng $\frac{\theta}{1+\theta} \times dr \times dz$. Vì vậy,

$$\int_n^s dz \int_w^e rdr \int_t^{t+\Delta t} \frac{\partial \theta}{\partial t} dt = \int_t^{t+\Delta t} dt \int_n^s dz \int_w^e r \frac{\partial}{\partial r} (rD \frac{\partial \theta}{\partial r}) dr + \int_t^{t+\Delta t} dt \int_w^e rdr \int_n^s \frac{\partial}{\partial z} (D \frac{\partial \theta}{\partial z}) dz - \int_t^{t+\Delta t} dt \int_w^e rdr \int_n^s \frac{\partial K}{\partial z} dz - \int_t^{t+\Delta t} dt \int_n^s dz \int_w^e r S(r, z, h) dr$$

Phương trình được rời rạc hóa với giả định độ ẩm θ tại mỗi nút tính toán đại diện cho một ô tính toán xung quanh nó (như

$$\frac{r_e^2 - r_w^2}{2} \Delta z (\theta_p - \theta_p^0) = \Delta z \Delta t (r_e D_e \frac{\theta_e - \theta_p}{\Delta r} - r_w D_w \frac{\theta_p - \theta_w}{\Delta r}) + \frac{r_e^2 - r_w^2}{2} \Delta t (D_s \frac{\theta_s - \theta_p}{\Delta z} - D_n \frac{\theta_p - \theta_n}{\Delta z}) - \frac{r_e^2 - r_w^2}{2} \Delta t (K_s - K_n) - \frac{r_e^2 - r_w^2}{2} \Delta z \Delta t \bar{S}(r, z, h) \quad (3)$$

Phương trình rời rạc hóa được thể hiện dạng chung như dưới đây

$$a_p \theta_p = a_w \theta_w + a_e \theta_e + a_n \theta_n + a_s \theta_s + a_p^0 \theta_p^0 + b \quad (4)$$

Trong đó: $a_w, a_e, a_s, a_n, a_p, a_p^0, b$: hệ số của phương trình rời rạc; $\theta_p, \theta_w, \theta_e, \theta_n, \theta_s, \theta_p^0$: giá trị độ ẩm tại mỗi nút tính toán. Chỉ số "0" trong θ_p^0, a_p^0 thể hiện giá trị độ ẩm θ_p, a_p tại bước tính toán trước.

Từ phương trình (4), để tìm các giá trị độ ẩm tại các nút N, S, W, E, phương pháp lặp Gauss Seidel theo hàng được áp dụng. Giả định các giá trị độ ẩm tại các nút N và S, phương trình (4) trở thành:

$$-a_w \theta_w + a_p \theta_p - a_e \theta_e = d \quad (5)$$

Trong đó:

$$d = a_n \theta_n + a_s \theta_s + a_p^0 \theta_p^0 + b \quad (5)$$

Phương trình (5) có dạng ma trận ba đường chéo, có thể được giải bằng máy tính bởi thuật toán TDMA (Three Diagonal Matrix Algorithm)

phương trình cân bằng khối lượng được xác định:

$$Q.t = \iint_{\Omega} [(\frac{\theta}{1+\theta})_t - (\frac{\theta}{1+\theta})_{t=0}] r dr dz \quad (2)$$

(Q: Lưu lượng vòi tưới nhỏ giọt, Ω : Miền thấm theo hình trụ tại thời điểm t)

Giá trị độ ẩm

Phương trình (1) được giải bởi phương pháp thể tích hữu hạn theo Patankar (1980) - phương pháp đã được ứng dụng cho mô hình số dòng chảy động lực và truyền nhiệt. Tích phân phương trình 1 với các nút tính toán trong hình 1 có kết quả như dưới đây.

hình 1). Việc rời rạc hóa có ứng dụng biện pháp nội suy bậc thang và tuyến tính, cho kết quả như dưới đây.

Lượng bốc hơi

Để có thể so sánh kết quả tính toán với mô hình của Elmaloglou and Malamos, lượng bốc hơi được tính toán với cùng công thức $E_0 = E_p \exp(\delta h)$ trong đó: E_0 : lượng bốc hơi của đất; E_p : lượng bốc hơi tiềm tàng ($E_p = 0.01$ cm/h), $\delta = 0.001$: hệ số; h: áp lực hơi nước, liên quan tới độ ẩm. Như vậy, lượng bốc hơi không chỉ phụ thuộc khả năng bốc hơi (E_p) mà còn phụ thuộc độ ẩm của đất. E_0 giảm khi độ ẩm giảm.

Hàm số biểu thị sức hút nước của rễ cây

Hàm số biểu thị sự hút nước của rễ cây có dạng tuyến tính, đề xuất bởi Feddes (1976) được áp dụng trong mô hình này nhằm so sánh kết quả tính toán với mô hình của Elmaloglou and Malamo. Hàm số này bị giới hạn bởi kích thước một chiều của nó (theo chiều sâu). Tuy nhiên, mô hình nghiên cứu trong bài này không giới hạn bởi mô hình 1 chiều. Lượng mất nước bởi rễ cây được thể hiện bởi: $S(z, h) = \alpha(h)u(z)$ trong đó, $\alpha(h)$: hàm số thể năng của nước theo

đồ thị gây khúc giới hạn bởi các tọa độ: (-10.0, 0.0); (-25.0, 1.0); (-300.0, 1.0) và (-8000.0, 0.0). $u(z) = g(\alpha - b|z|)$ là hàm số phân bố rễ cây với α có giá trị lớn nhất là $0.15 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3} \text{ h}^{-1}$ tại bề mặt đất, b có giá trị $0.222 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^{-1} \text{ h}^{-1}$ là hệ số triết giảm và g là hệ số không đổi trong điều kiện thời gian (ban ngày).

3. KIỂM CHỨNG MÔ HÌNH VÀ THẢO LUẬN

Loại đất và tính chất cơ lý của đất

Để có thể so sánh với kết quả của mô hình của Elmaloglou and Malamos, hai loại đất: cát pha thịt và thịt pha sét được lựa chọn theo tính chất loại đất phân cấp bởi USDA (Schaap and Leji, 1998).

Thông số vật lý của cát pha thịt và thịt pha sét được xác định không qua thí nghiệm mà dựa trên mối quan hệ cơ bản giữa thế năng của nước và độ ẩm. Hệ số khuếch tán và hệ số thẩm không bão hòa được xác định theo đề xuất của Van Genuchten (1980). Các mối quan hệ thực nghiệm được thể hiện dưới đây:

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (-\alpha h)^n]^m}$$

$$K(h) = K_s e^{a_0 h} \quad D = K / \left(\frac{d\theta}{dh} \right)$$

Trong đó: θ_r : độ ẩm dư (cm^3/cm^3); θ_s : độ ẩm bão hòa (cm^3/cm^3); h : thế năng của nước trong đất (cm); K_s : hệ số thẩm không bão hòa

($\text{cm}/\text{min.}$); α , a_0 , m , n : các hệ số thực nghiệm.

Ngoài ra, mô hình cũng chạy thử với cát hạt mịn và thịt pha cát. Kết quả mô hình của hai loại đất này được so sánh với kết quả thí nghiệm.

Cả hai loại đất trên được lấy mẫu tại khu đất thí nghiệm của trường đại học Kyushu, Nhật Bản. Các thông số vật lý (hệ số thẩm không bão hòa, hệ số khuếch tán) của cát mịn và đất thịt pha sét được xác định thông qua thí nghiệm, ứng dụng bởi phương pháp Bruce & Klute (1956) đề xuất và phương pháp pF theo mối quan hệ giữa độ ẩm và thế năng của nước trong đất. Các thí nghiệm đều đã được thực hiện tại trường đại học Kyushu, Nhật Bản.

Dữ liệu đầu vào

Các thông số vật lý của cát pha thịt và thịt pha sét được đưa vào mô hình để chạy thử và so sánh với kết quả của Malamos. Đối với cả hai loại đất, kích thước lưới tính toán là 50×60 nút theo r và z tương ứng với bước lưới 1 cm. Để kiểm tra độ ổn định của mô hình, các hệ số hội tụ khác nhau được sử dụng.

Thông số vật lý của các loại đất còn lại: cát hạt mịn và thịt pha cát cũng được đưa vào mô hình để tính toán miền thấm. Kết quả mô hình cho loại đất này được so sánh với kết quả thí nghiệm. Chi tiết được thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Dữ liệu nhập

Loại đất	Lưu lượng Q (l/h)	Kích thước lưới (cm×cm)	Bước thời gian (min.)	Tổng thời gian (min.)	Độ ẩm ban đầu θ_i	Hệ số hội tụ (từ ÷ đến), bước
Cát pha thịt	2.0, 3.0, 4.0	50×60	5	150, 120, 90	0.1	(0.05÷0.2), 0.05
Thịt pha sét	2.0, 3.0, 4.0	50×60	5	540, 360, 270	0.155	(0.05÷0.75), 0.05
Thịt pha cát	1.0	50×50	1	270	0.041	0.2
Cát mịn	3.4	50×50	1	150	0.004	1.0

Với cùng thông số đầu vào, kết quả tính toán được so sánh với nghiên cứu của Elmaloglou & Malamos. St. Elmaloglou & N. Malamos (2003) đề xuất công thức kinh nghiệm tính toán chiều sâu thấm và chiều rộng thấm tương ứng: $V = d_v T^{cv}$ và $R = d_r T^{cr}$ trong đó V , R chiều sâu, chiều rộng thấm (cm), d_v ,

d_r , c_v , c_r là các hệ số hiệu chỉnh và T thời gian (theo giờ) (Bảng 2). Các thông số này đã được Elmaloglou & Malamos nghiên cứu và lựa chọn cho phù hợp với hai loại đất trên. Kết quả tính toán chiều ngang và chiều sâu thấm trong mô hình đề xuất sẽ được so sánh với R và V tương ứng.

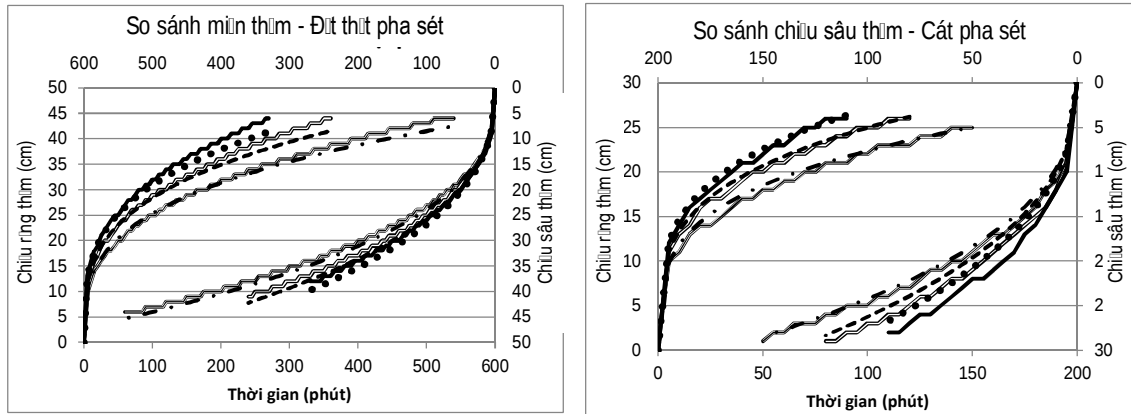
Bảng 2. Các thông số tham khảo cho tính toán chiều sâu, chiều rộng thấm

Lưu lượng Q(l/h)	Thông số cho thịt pha sét				Thông số cho cát pha thịt			
	d_v	c_v	d_r	c_r	d_v	c_v	d_r	c_r
2.0	19.670	0.380	21.650	0.307	19.760	0.399	19.450	0.275
3.0	21.060	0.388	24.400	0.297	21.200	0.419	21.750	0.270
4.0	21.900	0.397	26.600	0.293	22.470	0.428	23.680	0.267

So sánh miền thấm giữa kết quả tính toán và kết quả tham khảo

Hình 2 biểu diễn kết quả chiều rộng, chiều ngang thấm theo tính toán từ mô hình và từ kết quả tham khảo. Các đường cong bên trái

đồ thị biểu diễn quá trình phát triển thấm ngang, trong khi các đường cong bên phải của mỗi đồ thị biểu diễn sự phát triển chiều sâu thấm theo thời gian, thống nhất cho cả hai đồ thị.



Hình 2: So sánh chiều sâu và chiều ngang thấm giữa kết quả tính toán và số liệu tham khảo

Chú thích:

- ● ● ● Ref. R; Q = 4.0 ● ● ● ● Ref. V; Q = 4.0
 - Calc. R; Q = 4.0 — Calc. V; Q = 4.0
 - - - Ref. R; Q = 3.0 - - - Ref. V; Q = 3.0
 - Calc. R; Q = 3.0 — Calc. V; Q = 3.0
 - . - Ref. R; Q = 2.0 - . - Ref. V; Q = 2.0
 - Calc. R; Q = 2.0 — Calc. V; Q = 2.0
- Ref. R: chiều ngang thấm tham khảo (St. Elmaloglou & N. Malamos (2003);
 - Ref. V: Chiều sâu thấm tham khảo (St. Elmaloglou & N. Malamos (2003);
 - Calc. R: Chiều ngang thấm tính toán theo mô hình
 - Calc. V: Chiều sâu thấm tính toán theo mô hình
 - Q: lưu lượng tưới (từ 2.0 đến 4.0 l/h)

Kết quả cho thấy có sự khác nhau nhỏ giữa kết quả tính toán của mô hình nghiên cứu và công thức kinh nghiệm. Tính toán sai số cho chiều rộng và chiều sâu thấm giữa hai kết quả trong cùng mỗi bước thời gian cho thấy, đối với cát pha thịt, sai số tương đối dao động từ 10% - 12% trong 10 phút đầu. Trong thời gian còn lại, sai số dao động từ 0.1% đến 8%. Đối với đất thịt pha sét, sai số tương đối ở mức thấp hơn, dao động từ 0.1% đến 6.2% cho cả kết quả tính chiều sâu và chiều rộng thấm trong toàn quá trình tính toán.

Sự khác nhau này được cho là do sai khác của công thức kinh nghiệm và độ ẩm ban đầu cho tính toán. Giá trị độ ẩm ban đầu của Elmaloglou & Malamos thay đổi dần theo chiều

sâu. Tuy nhiên, cả hai kết quả đều có cùng xu hướng.

So sánh miền thấm giữa kết quả mô hình và kết quả thí nghiệm

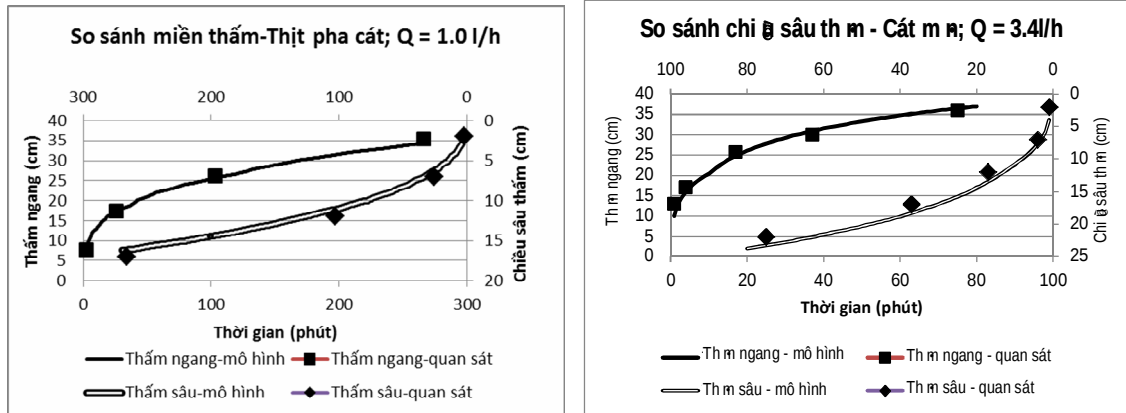
Thí nghiệm xác định thông số vật lý đã được thực hiện cho cát và thịt pha cát. Thí nghiệm thứ nhất được thực hiện nhằm xác định các hệ số thấm không bão hòa và hệ số khuếch tán đối với mỗi độ ẩm của từng loại đất, ứng dụng bởi phương pháp Bruce & Klute (1956) đề xuất và phương pháp pF theo mối quan hệ giữa độ ẩm và thế năng của nước trong đất.

Thí nghiệm thứ hai được thực hiện nhằm theo dõi sự phát triển miền thấm bởi các giá trị lưu lượng khác nhau của vòi tưới nhỏ giọt. Khối đất nhân tạo với kích thước 50x50x50 (cm) với cùng dung trọng, độ ẩm ban đầu và sự đồng nhất đã

được thiết lập có lắp đặt các đầu cảm ứng nhiệt và điện nhằm theo dõi diễn biến ẩm trong khối đất được thực hiện. Do sự giới hạn kích thước khối đất (50cm mỗi chiều) và để đảm bảo rằng dây cảm ứng chỉ ảnh hưởng tối thiểu đến sự thay đổi lan truyền ẩm của đất, chỉ 4 hoặc 5 đầu cảm ứng nhiệt đặt theo độ sâu của khối đất, cách nhau 5cm và bắt đầu từ độ sâu 2cm so với bề mặt đất. Kết quả lan truyền ẩm theo chiều sâu được phân tích theo sự thay đổi của đầu cảm ứng. Đối với

thấm ngang, chiều rộng thấm được xác định bằng quan sát mắt thường, có camera hỗ trợ. Thí nghiệm này nhằm kiểm chứng sự sai khác của mô hình nghiên cứu.

Kết quả mô hình và thí nghiệm cho chiều rộng, chiều sâu thấm đối với cát mịn và thịt pha cát được thể hiện trong Hình 3. Sự sai khác giữa các kết quả được so sánh tại 4 hoặc 5 thời điểm rời rạc tương ứng với mỗi loại đất: thịt pha cát hoặc cát mịn.



Hình 3. So sánh miền thấm giữa kết quả mô hình và kết quả thí nghiệm

Đối với cả hai loại đất, chiều rộng và chiều sâu thấm của mô hình có xu hướng phù hợp với kết quả thí nghiệm. Để định lượng sự khác biệt giữa các kết quả của mô hình và thí nghiệm, sai số tương đối giữa các kết quả được thiết lập. Đối với cát mịn, sai số tương đối của chiều rộng, chiều sâu thấm giữa kết quả mô hình và kết quả thí nghiệm tại cùng thời điểm dao động từ 1.7% - 10%. Sai số tương đối này trong trường hợp đất thịt pha cát cũng dao động trong khoảng tương tự: 1.9% - 10.3%. Hầu hết sai số lớn nằm trong thời điểm ban đầu (4 phút đầu đối với cát mịn và 20 phút đầu đối với đất thịt pha sét) do quá trình hình thành thấm trong lỗ rỗng không ổn định ban đầu.

Sự hội tụ trong tính toán

Tính hội tụ kết quả tính toán được kiểm chứng bởi các loại đất cát pha thịt và thịt pha sét. Đối với các bài toán động lực dòng chảy, hệ số khuếch tán và hệ số thấm chỉ có thay đổi nhỏ theo nhiệt độ, lưu tốc hay tỷ trọng của nước (Steven C. Chapra, 1997), thì trong trường hợp

thấm không bão hòa, $D(\theta)$ and $K(\theta)$ khác nhau khi loại đất khác nhau. Theo khả năng thấm từ cát tới sét, độ dốc đồ thị của hệ số thấm không bão hòa và hệ số khuếch tán tăng dần. Việc tính lặp độ ẩm θ bởi cách giả định giá trị θ trước đó với cùng một giá trị hệ số hội tụ cho mọi loại đất, vòng lặp tính toán sẽ không hội tụ, ngoài trường hợp của cát mịn. Nguyên nhân được xác định là do sự thay đổi đột ngột giá trị hệ số khuếch tán và hệ số thấm không bão hòa. Vì vậy, việc tính lặp độ ẩm θ theo giá trị trước đó được áp dụng theo công thức, có hệ số hội tụ:

$$\theta_{i,j,k} = \theta_{i,j,k}^* + \alpha(\theta_{i,j,k} - \theta_{i,j,k}^*) \quad (6)$$

$\theta_{i,j,k}$: Độ ẩm cần được tính toán $\theta(x, z, t)$;

$\theta_{i,j,k}^*$: Độ ẩm $\theta(x, z, t)$ tính toán được theo

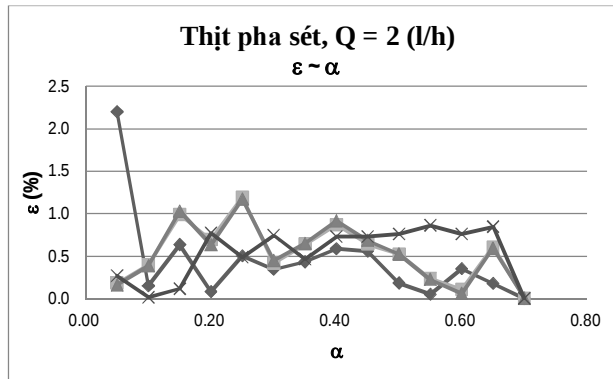
thời gian trước đó. $\alpha \in (0.05, 1.0]$: Hệ số hội tụ. Khi $\alpha = 1.0$, vòng lặp tuân thủ phương pháp Gauss Seidel.

Do thay đổi α (từ 0.05 tới 1.0 cho cát mịn, từ 0.05 tới 0.2 cho cát pha thịt, tương tự với sét và từ 0.05 tới 0.75 cho thịt pha sét), giá trị độ ẩm θ

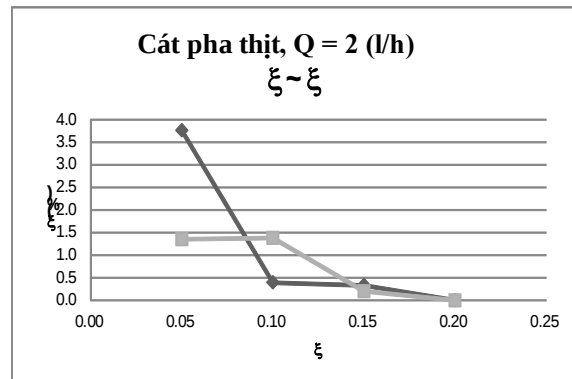
đã được hội tụ.

Quá trình lặp tìm nghiệm độ ẩm sẽ bị phân kỳ nếu áp dụng $\alpha > 0.75$ cho đất thịt pha sét nhưng với cát, có thể tới giá trị 1.0. Chương trình đã chạy thử với các giá trị α khác nhau (tăng dần theo bước giá trị 0.05) để xác định sai số giữa các kết quả độ ẩm.

$$\varepsilon = \frac{\theta^*(x, z, t)_{\alpha=\alpha_{\max}} - \theta^*(x, z, t)_{\alpha_i}}{\theta^*(x, z, t)_{\alpha=\alpha_{\max}}} \times 100$$



Trong đó: $\alpha_i = 0.05, 0.1, \dots, 1.0$; $\alpha_{\max}$: Giá trị lớn nhất của α cho mỗi loại đất (0.2 cát pha thịt và 0.75 cho thịt pha sét); $\theta^*(x, z, t)$: $\theta(x, z, t)$ lớn nhất với mỗi α trong miền lưới tính toán; ε (%): sai số tương đối của θ tại mỗi nút lưới. Như vậy, những sai khác lớn nhất về độ ẩm trong toàn miền tính toán với các bước giá trị α được tổng hợp và biểu diễn dạng đồ thị như hình 4 dưới đây.



Hình 4. Sai số tương đối ε với các hệ số hội tụ khác nhau α

Quá trình tính toán sai số ε được áp dụng cho một số nút lưới trong đó, ε đạt giá trị lớn nhất. Nhìn chung, sai số tính toán chỉ ở mức 2.20 % và 3.75 % tương ứng với đất thịt pha sét và cát pha thịt với thời lượng tính toán 540 phút và 150 phút. Việc xác định sai số trên đã kể đến việc áp dụng hệ số hội tụ. Hình 3 cho thấy không có sự khác biệt về sai số khi hệ số hội tụ nằm trong các khoảng (0.1; 0.7) và (0.1; 0.2) tương ứng cho thịt pha sét và cát pha thịt. Tuy nhiên, sai số lớn hơn khi hệ số hội tụ là 0.05.

Giá trị α càng nhỏ, thời gian tính toán càng dài. Số lần lặp cho mỗi tính toán đã được xác định. Số vòng lặp giảm từ 6047274 xuống 2920987 khi α từ 0.05 đến 0.7 cho thịt pha sét và từ 2627956 xuống 15629 khi α từ 0.05 tới 0.2 cho cát pha thịt.

Nhìn chung, các kết quả tính toán sai số tương đối đã cho thấy độ ổn định của mô hình.

4. KẾT LUẬN

Kích thước miền thấm và giá trị độ ẩm trong miền được xác định một cách trực tiếp và nhanh chóng bởi phương pháp thể tích hữu hạn cùng

với thuật toán TDMA. Kết quả tính toán độ ẩm mô hình cho thấy phù hợp với kết quả thực nghiệm cũng như nghiên cứu liên quan của Elmaloglou và Malamos. Mô hình tính toán có khả năng phát triển nhằm ứng dụng tính toán cho các trường hợp thực tế. Các đặc tính nổi bật của mô hình bao gồm:

Bán kính bảo hòa $R_s(t)$ được xác định một cách đơn giản hơn so với các nghiên cứu liên quan khác, bằng nguyên tắc bảo toàn khối lượng. Kết quả tính toán cho thấy sự phát triển chiều rộng thấm phù hợp với quan sát thí nghiệm.

Mặc dù mô hình chỉ được áp dụng với các điều kiện đơn giản như độ ẩm ban đầu đồng nhất, đất đồng nhất và không kể đến bốc hơi cũng như sức hút của rễ cây cũng như chỉ một số loại đất được kiểm chứng, kết quả mô hình cho thấy xu hướng phát triển miền thấm phù hợp thực tế. Do đó, mô hình có thể được phát triển cùng với sự hoàn thiện của các điều kiện biên kể trên.

Dựa trên phương pháp thể tích hữu hạn và thuật toán TDMA, sai số của độ ẩm tính toán

được tại mỗi nút là không đáng kể trong trường hợp thay đổi kích thước lưới tính toán. Ngoài ra tốc độ tính toán cũng là một ưu điểm của mô hình.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bresler E, Heller J, Diner N, Ben-Asher J, Brandt A, Goldberg D (1971). Infiltration from a trickle source, II. Experimental data and theoretical predictions. Soil Sci. Soc. Am. Pro. 35:pp. 683–689
- [2]. Elmaloglou S.T. and Malamos N., 2006. Estimation of width and depth of the wetted soil volume under a surface emitter, considering root water uptake and evaporation. Irrigation and Drainage, Vol. 54, Issue 4, pp. 417-430
- [3]. Feddes RA and Raats PAC (2004) Parameterizing the soil - water - plant root system. Unsaturated-zone modeling; Progress, challenges and applications / Kluwer Academic Publishers, pp. 95 – 141
- [4]. George A, C Tzimopoulos, M Sakellariou-Makrantonaki and S Yannopoulos (2001). Estimation of unsaturated flow in layered soils with the finite control volume method. Irrigation and drainage 50, pp. 349-358
- [5]. Healy RW and AW Warrick (1988). A generalized solution to infiltration from a surface point source. Soil Sci. Soc. Am. J. 52, pp.1245-1251
- [6]. Philip J R (1971). General theorem on steady infiltration from surface sources with application to point and line source. Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 35, pp. 867-871
- [7]. Schaap MG, LJ Leij (1998) Database-related accuracy and uncertainty of pedotransfer functions. Soil Sci 163, pp. 765–779
- [8]. Patankar SV (1980). Numerical heat transfer and fluid flow, Taylor & Francis.
- [9]. Van Genuchten M.Th (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 44, pp.892-898
- [10]. Warrick A. W. 1974. Time dependent linearized infiltration. I. Point sources. Soil. Sci. Soc. Am. Proc. Vol. 38.

Abstract:

AN APPLICATION OF VOLUME CONTROL METHOD TO SIMULATION OF UNSATURATED INFILTRATION IN SOIL ENVIRONMENT UNDER DRIP IRRIGATION

A method is presented for time variant extent of wetting volume that was developed in soil in response to infiltration from surface point source. This method is based on control volume solution of Richard's equation for symmetrical coordination. By advantages of simple discretization equation, rapidly performed calculation, direct result of volumetric water content values for various types of soil could be given out. Sand, sandy loam and referenced loamy sand and silt loam were taken to study. Calculated results of wetting development from soil types were verified from both referenced paper's result and experiment. There's a good agreement between calculated wetting volume and the paper's by using loamy sand and silt loam as well as experiment results.

Người phản biện: **TS. Nguyễn Tuấn Anh**

BBT nhận bài: 10/9/2012

Phản biện xong: 19/9/2012