

## Study on groundwater recharge assessment by rainfall in coastal district Thai Thuy, Thai Binh province

Nguyen Van Hoang\*, Pham Lan Hoa, Dong Thu Van, Le Quang Dao

*Institute of Geological Sciences, VAST, Vietnam*

\*E-mail: [n\\_v\\_hoang\\_vdc@yahoo.com](mailto:n_v_hoang_vdc@yahoo.com)

Received: 2 June 2020; Accepted: 16 September 2020

©2021 Vietnam Academy of Science and Technology (VAST)

### Abstract

Groundwater always plays a vital role in socio-economic development. One of the components of groundwater resource potential is the recharge from rainfall and surface water. The paper presents finite element modeling in the moisture transfer simulation in unsaturated soils through the relationship between soil moisture, soil suction, unsaturated permeability, and moisture dispersion coefficient. Parameters required for moisture transfer in four subsurface soil types have been collected and analyzed: Saturated permeability, porosity and field moisture content. Hourly rainfall data of 2015 have been studied and grouped into different rainfall duration (1-hour, 2-hour,... 36-hour continuous rainfall). The different duration rainfall and temporal infiltration determined by the moisture transfer modeling allow calculating the groundwater recharge from the downpour. We had applied the methodology to coastal district Thai Thuy, Thai Binh province. The results show that during the rainy months from June to October 2015, the groundwater recharge from the rainfall is: Through silty clay 0.233 m, through silt 0.338 m, through sandy silt 0.374 and through silty sands 0.561 m. The rainfall recharge to groundwater through those four soil types in terms of percentage of total 2015 rainfall respectively is 12.85%, 18.65%, 20.63% and 30.95%. The methodology may be applied to other areas with an advantage in the minimal expense of budget and time and relatively high reliable results.

**Keywords:** Hydrogeology, unsaturated soil, moisture transfer modelling, finite element method, groundwater recharge.

## Nghiên cứu đánh giá đại lượng nước mưa thấm cung cấp cho nước dưới đất khu vực huyện ven biển Thái Thụy tỉnh Thái Bình

Nguyễn Văn Hoàng\*, Phạm Lan Hoa, Đông Thu Vân, Lê Quang Đạo

*Viện Địa chất, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Việt Nam*

\*E-mail: [n\\_v\\_hoang\\_vdc@yahoo.com](mailto:n_v_hoang_vdc@yahoo.com)

Nhận bài: 2-6-2020; Chấp nhận đăng: 16-9-2020

### Tóm tắt

Nước dưới đất luôn luôn có vai trò quan trọng trong phát triển kinh tế xã hội. Một trong các thành phần hình thành trữ lượng nước dưới đất là cung cấp ngầm từ mặt đất từ nước mưa và nước mặt. Bài báo trình bày phương pháp mô hình phần tử hữu hạn mô phỏng lan truyền ẩm trong đất không bão hòa thông qua mối quan hệ giữa các đại lượng độ ẩm, áp suất hút của đất, hệ số thấm không bão hòa và hệ số lan truyền ẩm. Các thông số phục vụ mô hình lan truyền ẩm trong đất không bão hòa đối với bốn loại đất bề mặt đã được thu thập phân tích xác định hệ số thấm bão hòa, độ lỗ rỗng và độ ẩm thể tích. Số liệu mưa giờ năm 2015 được phân tích và nhóm thành các nhóm có thời đoạn mưa khác nhau (1 giờ, 2 giờ,... 36 giờ liên tục). Giá trị mưa các thời đoạn khác nhau kết hợp với đại lượng mưa ngầm cung cấp cho nước dưới đất theo các thời đoạn mưa cho phép xác định tổng lượng mưa trong năm cung cấp cho nước dưới đất. Phương pháp được áp dụng đối với khu vực huyện ven biển Thái Thụy tỉnh Thái Bình. Kết quả cho thấy mưa trong mùa mưa năm 2015 ngầm cung cấp cho nước dưới đất phụ thuộc vào từng loại đất bề mặt: Sét là 0,233 m, đất bột là 0,338 m, bột pha cát là 0,374 và cát pha là 0,561 m. Theo tỷ lệ nước mưa cả năm ngầm cung cấp cho nước dưới đất tương ứng đối với các loại đất đó là 12,85%; 18,65%; 20,63% và 30,95%. Phương pháp luận có thể được áp dụng đối với các khu vực khác có sự tiết kiệm chi phí và thời gian đáng kể nhưng cho kết quả tương đối tin cậy.

**Từ khóa:** Địa chất thủy văn (ĐCTV), đất không bão hòa, mô hình lan truyền ẩm, phần tử hữu hạn, cung cấp cho NDD.

### ĐẶT VẤN ĐỀ

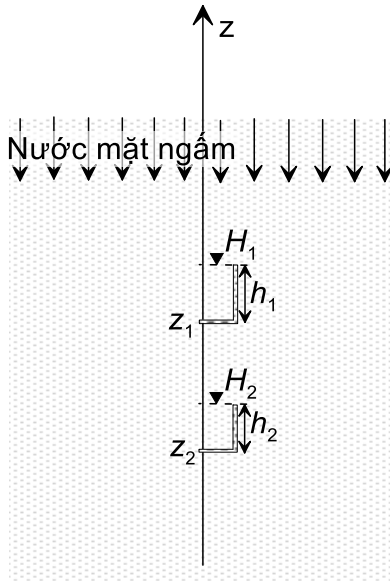
Từ xưa nước dưới đất luôn luôn có vai trò quan trọng trong phát triển kinh tế xã hội, đặc biệt ngày nay càng có vai trò to lớn góp phần đáp ứng nhu cầu nước trong các lĩnh vực kinh tế xã hội khác nhau. Một trong các thành phần hình thành trữ lượng nước dưới đất là cung cấp ngầm từ mặt đất từ nước mưa và nước mặt, trong đó đại lượng ngầm cung cấp từ nước mưa cho nước dưới đất đóng vai trò lớn do diện tích ngầm của nước mưa chiếm phần lớn diện tích mặt đất. Đồng thời đại lượng nước mưa cung cấp cho nước dưới đất là thành phần trữ lượng động tự

nhiên của tầng chứa nước có thể chiếm một tỷ lệ lớn trong trữ lượng khai thác nước dưới đất. Do đó nhằm quy hoạch khai thác sử dụng hợp lý và bền vững tài nguyên nước dưới đất, cần phải xác định được thành phần trữ lượng tài nguyên nước dưới đất do nước mưa cung cấp. Vì vậy xác định đại lượng mưa ngầm cung cấp cho nước dưới đất là rất cần thiết. Một trong các phương pháp xác định đại lượng nước mưa cung cấp cho nước dưới đất là phương pháp mô hình thấm của nước mưa qua đới không bão hòa. Đây là một trong các phương pháp thuộc nhóm phương pháp Đắc-xi [1]. Đại lượng cung cấp ngầm theo phương

thẳng đứng qua đời không bão hòa xác định theo công thức sau:

$$R = -K(\theta) \frac{dH}{dz} = -K(\theta) \left( \frac{dh}{dz} + 1 \right) \quad (1)$$

Trong đó:  $K(\theta)$ : Hệ số thấm không bão hòa phụ thuộc vào độ ẩm;  $\theta$ : Độ ẩm;  $H$ : Áp lực ẩm toàn phần trên mặt đối sánh  $z_0$  nào đó ( $H = h + z$ );  $h$ : Áp lực ẩm cục bộ (là hàm số của độ ẩm);  $z$ : Tọa độ theo phương thẳng đứng (hình 1).



Hình 1. Sơ đồ minh họa thấm, áp lực ẩm tổng cộng và áp lực ẩm cục bộ

Do độ ẩm, áp lực hút (áp suất hút) và hệ số thấm của đất không bão hòa quan hệ ràng buộc với nhau và thay đổi theo không gian cũng như thời gian thấm nên đại lượng ngấm nước mưa qua đất không bão hòa theo phương trình (1) là không thể giải được bằng phương pháp giải tích. Bài báo trình bày khả năng áp dụng mô hình số mô phỏng lan truyền ẩm do nước mưa ngấm để xác định đại lượng mưa ngấm cung cấp cho nước dưới đất và áp dụng đối với khu vực huyện Thái Thụy tỉnh Thái Bình.

### PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Có nhiều phương pháp xác định đại lượng ngấm nước mưa, tuy nhiên trong khuôn khổ nghiên cứu này một trong các phương pháp thuộc nhóm phương pháp Đắc-xi là mô hình lan truyền ẩm để ước tính đại lượng bổ cấp cho nước dưới đất từ nước mưa được sử dụng. Phương trình mô tả quá trình lan truyền nước trong đất không bão hòa nước với giả thiết rằng không khí không chuyển động [2] trong không gian ba chiều  $(x, y, z)$  có dạng sau [3]:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = -\frac{\partial \theta_w}{\partial t} \quad (2)$$

Trong đó:  $\theta_w$ : Độ ẩm của đất (lượng nước chứa trong một đơn vị thể tích đất);  $t$ : Thời gian;  $v_x$ ;  $v_y$  và  $v_z$  tương ứng là vận tốc thấm theo phương  $x$ ,  $y$  và  $z$ :

$$v_x = -K(\theta_w) \frac{\partial h}{\partial x}; \quad v_y = -K(\theta_w) \frac{\partial h}{\partial y}; \quad v_z = -K(\theta_w) \frac{\partial h}{\partial z} \quad (3)$$

Trong đó:  $h = p/\gamma + z$ ;  $h$ : Áp lực hút nước;  $p$ : Áp suất nước (hoặc là áp lực hút tuyệt đối (absolute suction head));  $\gamma$ : Dung trọng của nước;  $K(\theta_w)$ : Hệ số thấm không bão hòa (đối

với mỗi loại đất là hàm số của hệ số thấm bão hòa và độ ẩm).

Từ (2) và (3) ta có:

$$\frac{\partial \theta_w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{K(\theta_w)}{\gamma} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{K(\theta_w)}{\gamma} \frac{\partial p}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{K(\theta_w)}{\gamma} \frac{\partial p}{\partial z} \right) + \frac{\partial K(\theta_w)}{\partial z} \quad (4)$$

Phương trình (4) mô tả quá trình lan truyền ẩm trong không gian 3 chiều. Bởi vì  $p$  là hàm số của  $\theta_w$  và lấy dung trọng

của nước bằng 1 ta có thể biến đổi đối với không gian hai chiều ( $x$  - chiều ngang và  $z$  - chiều sâu) như sau:

$$\frac{\partial \theta_w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( K(\theta_w) \frac{dp}{d\theta_w} \frac{\partial \theta_w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K(\theta_w) \frac{dp}{d\theta_w} \frac{\partial \theta_w}{\partial z} \right) + \frac{\partial K(\theta_w)}{\partial z} \quad (5)$$

Trong không gian 1 chiều theo phương thẳng đứng z:

$$\frac{\partial \theta_w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K(\theta_w) \frac{dp}{d\theta_w} \frac{\partial \theta_w}{\partial z} \right) + \frac{\partial K(\theta_w)}{\partial z} \quad (6)$$

Thành phần  $\left[ K(\theta_w) \frac{dp}{d\theta_w} \right]$  được gọi là hệ số

phân tán ẩm và có ký hiệu là  $D(\theta_w)$  với đơn vị là  $L^2 T^{-1}$  khi đó (6) có dạng sau:

$$\frac{\partial \theta_w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ D(\theta_w) \frac{\partial \theta_w}{\partial z} \right] + \frac{\partial K(\theta_w)}{\partial z} \quad (7)$$

Phương trình (7) chỉ có lời giải duy nhất khi có đầy đủ các điều kiện ban đầu và điều kiện biên được mô tả như dưới đây.

Điều kiện ban đầu là phân bố nồng độ của vật chất đang xem xét vào thời điểm ban đầu tùy ý  $t = t_0$  tại mọi vị trí trong miền tính toán:

$$c = c_0(x, y) \quad (8)$$

Các điều kiện biên có thể là một hoặc đồng thời các dạng sau:

$$\int_{\Omega} \left[ \frac{\partial}{\partial z} \left( D_z \frac{\partial \hat{\theta}}{\partial z} \right) + \frac{\partial K(\hat{\theta})}{\partial z} \right] W_l dz = - \int_{\Omega} \left( D_z \frac{\partial \hat{\theta}}{\partial z} \frac{\partial W_l}{\partial z} \right) dz + \int_{\Gamma} \left( D_z \frac{\partial \hat{\theta}}{\partial z} W_l \mathbf{N}_z \right) + \int_{\Omega} \frac{\partial K(\hat{\theta})}{\partial z} W_l dz \quad (12)$$

Thành phần  $\int_{\Gamma}$  chỉ có mặt đối với các phần tử giáp biên  $\Gamma_{q_c}$  và  $\Gamma_{q_{bc}}$ , và sử dụng  $\Gamma_q$

$$- \int_{\Omega} \left( D_z \frac{\partial \hat{\theta}}{\partial z} \frac{\partial W_l}{\partial z} \right) dz + \int_{\Omega} \frac{\partial K(\hat{\theta})}{\partial z} W_l dz + \int_{\Gamma_q} \left( D_z \frac{\partial \hat{\theta}}{\partial z} W_l \mathbf{N}_z \right) d\Gamma = 0 \quad (13)$$

Thay  $\theta \approx \hat{\theta} = \sum_{m=1}^M \theta_m N_m$  vào (13) sẽ cho:

$$- \int_{\Omega} \left( D_z \frac{\partial N_m}{\partial z} \frac{\partial W_l}{\partial z} \theta_m \right) dz + \int_{\Omega} \frac{\partial K(\theta_m)}{\partial z} W_l dz + \int_{\Gamma_q} (\bar{q}_c W_l N_z) d\Gamma = 0 \quad (14)$$

Biên có độ ẩm và áp suất đã biết:

$$\theta_w = \theta_w^w \text{ trên } \Gamma_w \quad (9)$$

Biên Neumann (gradient độ ẩm pháp tuyến với đường biên đã biết):

$$\frac{\partial \theta_w}{\partial n} = g \text{ trên } \Gamma_{g_w} \quad (10)$$

Phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH) [4] có thể được sử dụng để giải phương trình lan truyền ẩm (7) nêu trên.

Để đơn giản sẽ sử dụng tương ứng ký hiệu  $D_z$  thay cho  $D_z(\theta_w)$  và  $\theta$  thay cho  $\theta_w$ . Theo phương pháp PTHH, trước hết chưa xét đến thành phần đạo hàm theo thời gian  $\partial \theta_w / \partial t$  bên vế trái phương trình (7) và sử dụng phép gần

đúng  $\theta \approx \hat{\theta} = \sum_{m=1}^M \theta_m N_m$  ta sẽ có [4]:

$$\int_{\Omega} \left[ \frac{\partial}{\partial z} \left( D_z \frac{\partial \hat{\theta}}{\partial z} \right) + \frac{\partial K(\hat{\theta})}{\partial z} \right] W_l dz = 0 \quad (11)$$

Sử dụng định luật Green (11) sẽ là:

để thể hiện cả hai loại biên này ta có:

$$\mathbf{K} = -\int_{\Omega} \left( D_y \frac{\partial N_m}{\partial z} \frac{\partial W_l}{\partial z} \right) dz; \quad \mathbf{F} = -\int_{\Omega} \frac{\partial K(\theta_m)}{\partial z} W_l dz - \int_{\Gamma_q} (\bar{q}_c W_l N_z) d\Gamma \quad (15)$$

$$\mathbf{K}\theta = \mathbf{F} \quad (16)$$

Quay lại yếu tố thời gian, tức là có thành phần  $\partial\theta_w/\partial t$  bên vế phải (điều kiện không ổn định) ta viết lại (16) dưới dạng:

$$\mathbf{K}\theta - \frac{d\theta}{dt} = \mathbf{F} \quad (17)$$

Đạo hàm bậc nhất theo thời gian có thể được thực hiện theo một trong ba sơ đồ: Tiến, trung tâm và lùi.

Sơ đồ tiến (sơ đồ Euler):

$$\left( \frac{1}{\Delta t_n} + \mathbf{K} \right) \theta^n - \frac{\theta^{n+1}}{\Delta t_n} = \mathbf{F} \quad (18)$$

Sơ đồ này còn được gọi là sơ đồ hiện (explicit) vì  $\theta^{n+1}$  được xác định qua  $\theta^n$  như sau:

$$\theta^{n+1} = (1 + \Delta t_n \mathbf{K}) \theta^n + \mathbf{F} \quad (19)$$

Sơ đồ Crank-Nicolson scheme (sơ đồ trung tâm) (còn được gọi là sơ đồ ẩn):

$$(-2 + \Delta t_n \mathbf{K}) \theta^{n+1} = -(2 + \Delta t_n \mathbf{K}) \theta^n + \mathbf{F} \quad (20)$$

Sơ đồ lùi (cũng được xem là sơ đồ ẩn):

$$(\mathbf{K} \Delta t_n - 1) \theta^{n+1} = \theta^n + \mathbf{F} \quad (21)$$

Zienkiewiecs và Morgan (1983) [3] đã trình bày tỷ mỉ rằng các sơ đồ với  $\lambda \geq 0,5$  luôn luôn ổn định một cách vô điều kiện với giá trị bước thời gian bất kỳ  $\Delta t$  và sơ đồ có độ chính xác nhất là sơ đồ Crank-Nicolson (bậc sai số là  $O(\Delta t^2)$ ), và đối với sơ đồ sai phân tiến hoặc lùi bước thời gian cần phải thỏa mãn điều kiện

tương ứng là  $\Delta t < (h^e)^2 / [6D(\theta_w)]$  và

$$\Delta t < (h^e)^2 / [2D(\theta_w)].$$

Theo C. Ph. Averianov [3] hệ số thấm không bão hòa còn được biểu diễn bằng công thức sau:

$$K(\theta_w) = K \left( \frac{\theta_w - \theta_o}{\theta_{BH} - \theta_o} \right)^n, \quad (n=3,5) \quad (22)$$

Trong đó:  $K$  và  $K(\theta_w)$  tương ứng là hệ số thấm bão hòa và không bão hòa (m/ngày);  $\theta_w$ ,  $\theta_o$  và  $\theta_{BH}$ , tương ứng là độ ẩm thể tích, độ ẩm thể tích nước liên kết và độ ẩm thể tích bão hòa.

Hệ số thấm không bão hòa và hệ số lan truyền âm được xác định như sau theo tác giả Hart thí nghiệm năm 1972 đối với đất sét pha [5]:

$$p = 1,66 \left( \frac{\theta_w}{\theta_{BH}} \right)^{-5,70} \quad \text{khi } \theta_w \leq 0,35; \quad p = 0,09 \left( \frac{\theta_w}{\theta_{BH}} \right)^{-27,21} \quad \text{khi } \theta_w > 0,35 \quad (23)$$

Với độ ẩm thể tích nước liên kết vô cùng nhỏ có thể cho bằng 0 các tác giả Jiunsheng Li và Hiroshi Kawano (1997) [5] thu được giá số mũ  $n$  trong công thức (22) là 16,37 khi

độ ẩm thể tích nhỏ hơn hoặc bằng 0,35 và bằng 42,08 khi độ ẩm thể tích lớn hơn 0,35; tức là hệ số lan truyền âm xác định theo công thức:

$$D(\theta_w) = K(\theta_w) \times 9,462 (\theta_w)^{-6,70} (\theta_{BH})^{5,70} \quad \text{khi } \theta_w \leq 0,35$$

$$D(\theta_w) = K(\theta_w) \times 2,4489 (\theta_w)^{-28,21} (\theta_{BH})^{27,21} \quad \text{khi } \theta_w > 0,35 \quad (24)$$

### XÁC ĐỊNH ĐẠI LƯỢNG NƯỚC MƯA NGÁM BẰNG MÔ HÌNH LAN TRUYỀN ẨM TRONG ĐẤT KHÔNG BÃO HÒA

Đánh giá điều kiện địa chất thủy văn đặc trưng huyện Thái Thụy tỉnh Thái Bình

Trong chất thủy văn (ĐCTV), trên khu vực đồng bằng sông Hồng có 4 tầng chứa nước trong Hệ Tứ được phân chia là: Tầng chứa nước Holocen trên ( $qp_2$ ), tầng chứa nước Holocen dưới-giữa ( $qh_1$ ), tầng chứa nước Pleistocen giữa-trên ( $qp_2$ ) và tầng chứa nước Pleistocen dưới ( $qp_1$ ) [6]. Giữa các tầng chứa nước có thể có hoặc không có lớp thấm nước. Khu vực thị trấn Diêm Điền huyện Thái Thụy và lân cận có các đặc trưng cấu trúc ĐCTV khu vực qua hai lỗ khoan QT155 tại thị trấn Diêm Điền và lỗ khoan QT156 phía tây bắc thị trấn Diêm Điền (hình 2). Cột địa tầng lỗ khoan QT155 và QT156 thể hiện trên hình 3. Qua hai cột địa tầng lỗ khoan này có thể thấy rằng đặc trưng cấu trúc địa ĐCTV tại đây như sau:

Trên mặt đất tồn tại lớp đất sét thấm nước yếu thuộc hệ tầng Thái Bình có chiều dày từ 1,5 m đến 2 m; lớp đất này sẽ hạn chế đáng kể quá trình ngấm của nước mưa, nước mặt trong

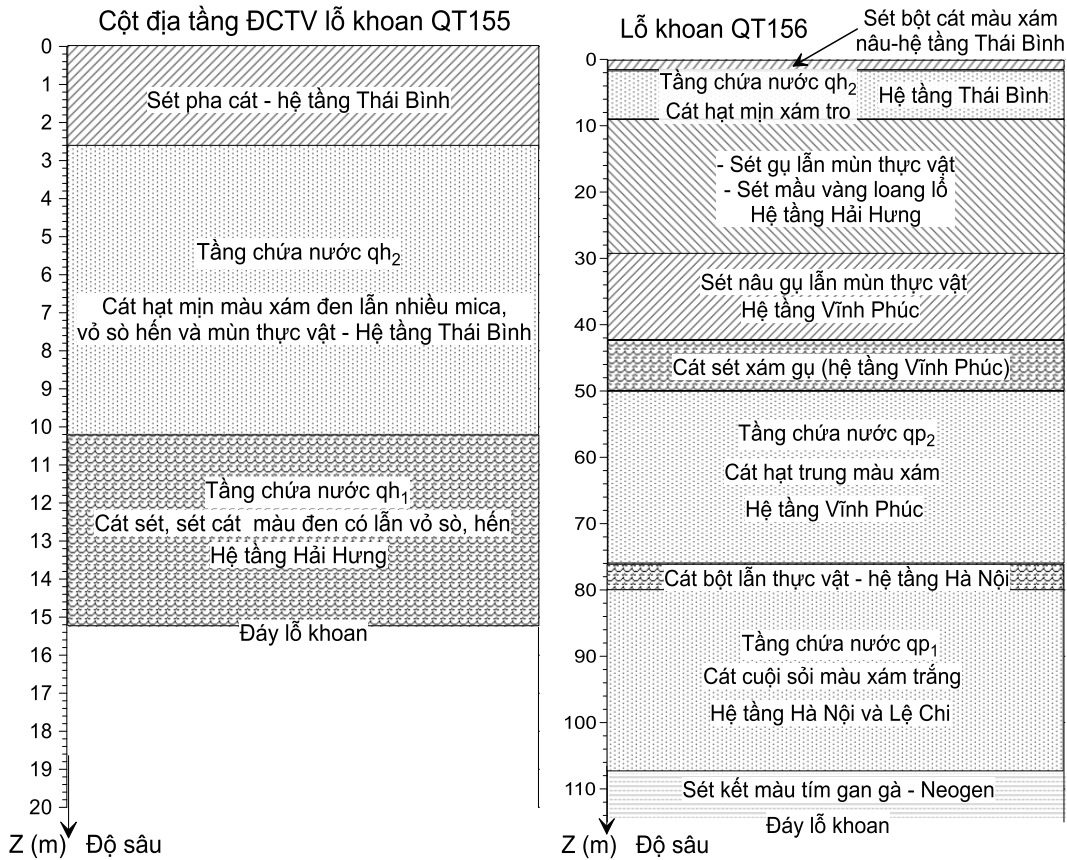
các ao hồ nông dưới 1,5 m vào tầng chứa nước  $qh_2$ ;

Phía dưới lớp thấm nước yếu là tầng chứa nước  $qh_2$  thuộc hệ tầng Thái Bình được phân định tương đối rõ bởi thành phần là cát hạt mịn có chiều dày 8–12 m;

Dưới tầng chứa nước  $qh_2$  là các trầm tích hệ tầng Hải Hưng có thành phần hạt mịn là sét lẫn mùn, sét, bùn sét (là lớp thấm nước yếu nằm giữa  $qh_2$  và  $qh_1$ ) hoặc cát sét, sét cát (được gọi là tầng chứa nước  $qh_1$ ). Tầng chứa nước  $qh_2$  và  $qh_1$  chỉ có khả năng cung cấp rất hạn chế dạng hộ gia đình từ các giếng đào, giếng khoan với lưu lượng khai thác hạn chế. Tại lỗ khoan QT155 vắng mặt lớp thấm nước yếu nằm giữa tầng chứa nước  $qh_2$  và  $qh_1$ , còn tại QT156 vắng mặt tầng chứa nước  $qh_1$ . Tầng chứa nước  $qh_2$  và  $qh_1$  có vai trò cấp nước cho tầng chứa nước  $qp_2$  nằm dưới do có sự chênh lệch mực nước.



Hình 2. Khu vực nghiên cứu và các lỗ khoan quan trắc nước dưới đất QT155 và 156



Hình 3. Địa tầng QT155 và QT156 tại Diêm Điền -Thái Thụy-Thái Bình  
[Nguồn: Vẽ lại theo Lại Đức Hùng (1996)]

Phía dưới tầng chứa nước  $qh_1$  hoặc phía dưới lớp thấm nước yếu hệ tầng Hải Hưng là lớp thấm nước yếu hệ tầng Vĩnh Phúc.

Nằm dưới lớp thấm nước yếu của phần trên hệ tầng Vĩnh Phúc là tầng chứa nước  $qp_2$  có thành phần là cát sạn sỏi lẫn ít cuội đa khoáng của phần dưới hệ tầng Vĩnh Phúc;

Dưới tầng chứa nước  $qp_2$  là lớp thấm nước kém có thành phần là sét bột của phần trên hệ tầng Hà Nội, tại QT156 có chiều dày khoảng 4 m;

Tiếp theo là tầng chứa nước  $qp_1$  có thành phần là cát sạn sỏi thạch anh, silic của phần dưới hệ tầng Hà Nội và toàn bộ hệ tầng Lệ Chi. Tầng chứa nước  $qp_1$  nằm trên sét kết tuổi Neogen thấm nước rất yếu.

#### Các thông số của các loại đất được mô hình tính toán

Một số mẫu đất lớp đất bề mặt khu vực huyện ven biển Thái Thụy tỉnh Thái Bình đã

được thu thập và thí nghiệm xác định hệ số thấm. Kết quả thí nghiệm 28 mẫu đất trên khu vực huyện Thái Thụy cho kết quả về hệ số thấm bão hòa của lớp đất bề mặt như sau: 1) Sét:  $K = 0,0004$  m/ngày; 2) Bột: 0,0048 m/ngày; 3) Bột pha cát: 0,0214 m/ngày; 4) Bột pha cát: 0,0745 m/ngày; 5) Cát pha: 0,1972 m/ngày.

Theo kết quả thí nghiệm các mẫu đất lấy tại huyện Thái Thụy tại các lỗ khoan địa chất công trình, đây là đất dính trầm tích sông, sông-biên hệ tầng Thái Bình là đất sét, sét pha có độ lỗ rỗng từ 0,44 đến 0,56 là các giá trị phù hợp đối với các loại đất cát pha đến sét mà Fetter (2001) [7] có độ lỗ rỗng từ 0,33 đến 0,60. Trong năm loại đất nêu trên thì đất sét có hệ số thấm rất nhỏ bằng 0,0004 m/ngày trong thực tế địa chất thủy văn được xem là cách nước. Bốn loại đất phân bố trên khu vực nghiên cứu cùng độ lỗ rỗng và độ ẩm thể tích tự nhiên được tổng



hợp trong bảng 1. Lầy chiều dày lớp đất thấm yếu trung bình là 2,2 m theo hai lỗ khoan quan trắc QT155 và QT156.

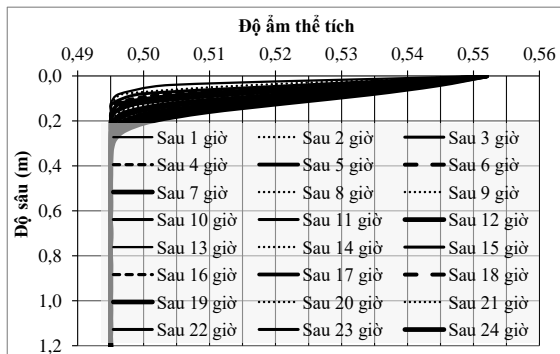
Đầu vào của mô hình lan truyền ẩm là kích thước (chiều dày) lớp đất không bão hòa bề mặt, hệ số thấm bão hòa, biểu thức toán học quan hệ giữa hệ số thấm và độ ẩm và độ ẩm

ban đầu theo độ sâu. Đồng thời đầu vào của chương trình trong “Đánh giá đại lượng nước mưa ngấm cung cấp cho nước dưới đất mùa mưa năm 2015” bên dưới tính toán đại lượng nước mưa thấm dựa trên kết quả của mô hình lan truyền ẩm là số liệu mưa giờ theo thời gian thực từ tháng 6 đến tháng 10 năm 2015.

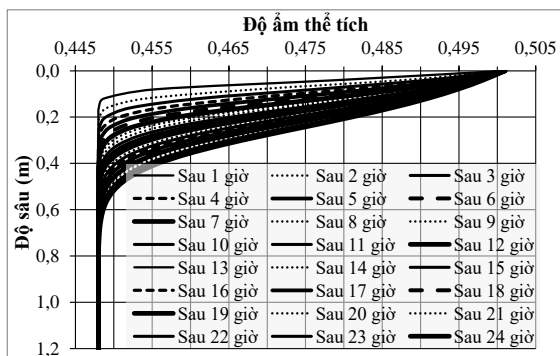
Bảng 1. Hệ số thấm bão hòa, độ lỗ rỗng và độ ẩm thể tích bốn loại đất

Loại đất	Sét	Bột	Bột pha cát	Cát pha
Hệ số thấm - $K$ (m/ngày)	0,0048	0,0214	0,0745	0,1972
Độ lỗ rỗng/độ ẩm thể tích bão hòa	0,552	0,501	0,467	0,455
Độ ẩm thể tích tự nhiên	0,495	0,448	0,437	0,417

**Kết quả mô hình lan truyền ẩm**



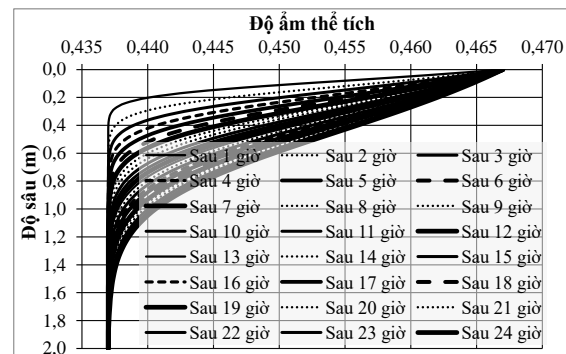
Hình 4. Đường cong phân bố độ ẩm khi hệ số thấm 0,0048 m/ngày



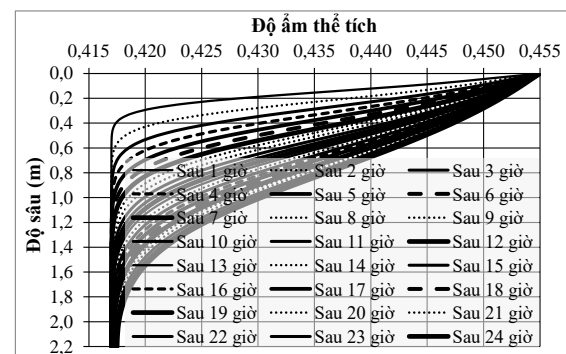
Hình 5. Đường cong phân bố độ ẩm khi hệ số thấm 0,0214 m/ngày

Điều kiện biên mặt đất là biên có độ ẩm xác định bằng độ ẩm bão hòa khi có mưa. Mô hình được tiến hành cho thời gian mưa trong mùa mưa năm 2015 từ tháng 6 đến tháng 10. Mô hình xác định được phân bố độ ẩm theo chiều

sâu và theo thời gian khi bắt đầu mưa và lượng nước mưa cung cấp theo các thời gian khác nhau. Sử dụng kết quả mô hình xác định lượng mưa ngấm cung cấp cho nước dưới đất và lượng mưa giờ sẽ xác định được tổng đại lượng mưa ngấm cung cấp cho nước dưới đất trong mùa mưa năm 2015.



Hình 6. Đường cong phân bố độ ẩm khi hệ số thấm 0,0745 m/ngày



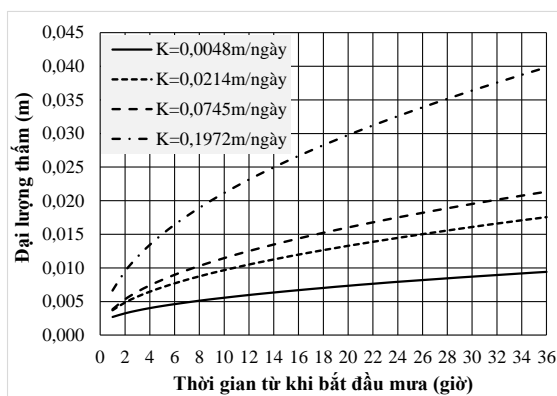
Hình 7. Đường cong phân bố độ ẩm khi hệ số thấm 0,1972 m/ngày



Đường cong phân bố độ ẩm đối với bốn loại đất thể hiện tương ứng trên hình 4–7 và lưu lượng nước mưa ngấm theo thời gian thể hiện trên hình 8 và bảng 2.

Bảng 2. Đại lượng nước mưa thấm theo thời gian tính từ khi mưa

Thời gian (giờ)	Đại lượng nước mưa thấm (m) theo hệ số thấm $K$			
	$K = 0,0048$ m/ngày	$K = 0,0214$ m/ngày	$K = 0,0745$ m/ngày	$K = 0,1972$ m/ngày
1	0,00270	0,00369	0,00383	0,00664
2	0,00324	0,00483	0,00531	0,00948
3	0,00366	0,00571	0,00644	0,01163
4	0,00402	0,00645	0,00738	0,01343
5	0,00433	0,00710	0,00821	0,01501
6	0,00461	0,00769	0,00896	0,01643
7	0,00487	0,00824	0,00965	0,01773
8	0,00512	0,00874	0,01028	0,01894
9	0,00535	0,00922	0,01088	0,02008
10	0,00556	0,00966	0,01145	0,02115
11	0,00577	0,01009	0,01199	0,02217
12	0,00597	0,01050	0,01250	0,02315
13	0,00616	0,01089	0,01299	0,02408
14	0,00634	0,01126	0,01347	0,02497
15	0,00652	0,01163	0,01392	0,02584
16	0,00669	0,01198	0,01437	0,02667
17	0,00686	0,01232	0,01480	0,02748
18	0,00702	0,01265	0,01521	0,02827
19	0,00719	0,01297	0,01562	0,02903
20	0,00734	0,01329	0,01601	0,02978
21	0,00750	0,01359	0,01640	0,03050
22	0,00764	0,01389	0,01677	0,03121
23	0,00779	0,01418	0,01714	0,03190
24	0,00793	0,01447	0,01750	0,03258



Hình 8. Đại lượng nước mưa thấm theo thời gian

### Đánh giá đại lượng nước mưa ngấm cung cấp cho nước dưới đất mùa mưa năm 2015

Như được biết, cung cấp ngấm hữu hiệu cho nước dưới đất từ nước mưa thông thường xảy ra trong thời kỳ dư ẩm, tức là chủ yếu trong mùa mưa. Vì vậy dữ liệu mưa 5 tháng trong thời gian từ tháng 6 đến tháng 10 năm 2015 được sử dụng để xác định đại lượng mưa ngấm. Như kết quả ở trên đã trình bày (hình 7 và bảng 2) đại lượng ngấm của nước mưa phụ thuộc vào thời gian của từng đợt mưa. Vì vậy số liệu mưa giờ được nhóm thành các nhóm đợt có thời gian mưa liên tục (hoặc 1 giờ hoặc nhiều giờ). Một chương trình máy tính điện tử được xây dựng để thực hiện nội dung này và kết quả thể hiện trong bảng 3. Đại lượng ngấm qua từng loại đất được xác định dựa vào số liệu trong bảng 2 và bảng 3 cũng bằng một chương trình máy tính điện tử. Kết quả tính toán đại lượng mưa

tháng 6–10 năm 2015 ngâm cung cấp cho nước dưới đất qua từng loại đất thể hiện trong bảng 4.

Bảng 3. Kết quả xác định các đợt mưa liên tục: Thời gian mưa liên tục và lượng mưa

Số giờ mưa liên tục	STT	Lượng mưa (mm)	Số giờ mưa liên tục	STT	Lượng mưa (mm)	Số giờ mưa liên tục	STT	Lượng mưa (mm)	Số giờ mưa liên tục	STT	Lượng mưa (mm)
1	1	0,5	1	31	1,7	2	18	1,3	4	2	13,9
	2	2,0		32	1,4		19	5,4		3	1,2
	3	0,1		33	0,6		20	0,3		4	1,3
	4	0,7		34	0,2		21	0,6		5	18,7
	5	0,3		35	0,1		22	25,3		6	0,7
	6	0,2		36	0,1		23	0,3		7	8,8
	7	0,1		37	1,0		24	0,8	8	3,4	
	8	0,2		38	0,3		25	0,4	9	15,3	
	9	0,1		39	0,1		26	0,2	10	5,7	
	10	0,1		40	10,3		27	1,7	5	1	29,8
	11	0,5		41	0,4		28	6,6		2	6,8
	12	0,1		42	0,1		29	21,7		3	23,7
	13	0,8		43	0,1		30	8,8	6	1	2,9
	14	0,1	1	7,2	31	1,5	2	25,2			
	15	0,1	2	0,2	32	4,9	7	1	7,1		
	16	0,1	3	0,3	1	7,3		2	2,9		
	17	0,1	4	1,4	2	1,3		3	40,6		
	18	0,1	5	11,0	3	1,1		4	39,8		
	19	0,5	6	1,1	4	3,4	8	1	18,3		
	20	0,1	7	4,1	5	39,7		2	29,4		
	21	0,4	8	18,5	6	6,5		3	36,8		
	22	0,1	9	3,5	7	22,7	9	1	10,5		
	23	0,1	10	0,2	8	1,1		2	6,7		
	24	0,1	11	8,4	9	27,5		3	11,0		
	25	0,2	12	1,0	10	1,9		4	143,6		
	26	0,1	13	4,1	11	69,7		5	21,2		
	27	0,1	14	2,3	12	1,5	12	1	112		
	28	1,5	15	0,2	13	3,9		2	4,8		
	29	0,1	16	0,8	14	0,7		3	55,3		
	30	0,8	17	0,4	15	1,0		4	18,8		
						4	1	1,0	15	1	204,7

Bảng 4. Tổng đại lượng thấm của nước mưa trong các tháng mùa mưa 6–10 năm 2015

Sét	Bột	Bột pha cát	Cát pha
$K = 0,0048 \text{ m/ngày}$	$K = 0,0214 \text{ m/ngày}$	$K = 0,0745 \text{ m/ngày}$	$K = 0,1972 \text{ m/ngày}$
Tổng đại lượng nước mưa thấm (m)			
0,233	0,338	0,374	0,561
% thấm tính theo lượng mưa năm tháng 6–10 năm 2015 là 1.282,4 mm			
18,17	26,36	29,16	44,75
% thấm tính theo tổng lượng mưa năm 2015 là 1.812,6 mm			
12,85	18,65	20,63	30,95

Kết quả cho thấy mưa trong mùa mưa năm 2015 ngấm cung cấp cho nước dưới đất phụ thuộc vào từng loại đất bề mặt, nhỏ là 0,233 m, lớn là 0,561 m, trung bình là 0,374 m. So với tổng lượng mưa trong năm thì tỷ lệ nước mưa ngấm cung cấp cho nước dưới đất từ 12,85% (qua đất sét pha thấm yếu đến 30,95% qua lớp đất cát pha, trung bình là 20,63% (tương đương qua đất bột pha cát).

## THẢO LUẬN

Độ chính xác của ước lượng nước mưa ngấm vào đới thông khí cung cấp cho nước dưới đất được tiến hành qua việc giải phương trình Richards theo Kinzelbach et al., (2002) [1] có độ sai số khoảng 10 lần thực tế (lớn quá gấp 10 lần hoặc nhỏ bằng một phần mười lần). Tuy nhiên kết quả của công trình này cho thấy độ sai số không thể tới mức độ này vì ngay giữa hai loại đất có giá trị hệ số thấm tốt nhất chênh nhau 2,65 lần, nhưng đại lượng thấm của nước mưa xác định được chỉ chênh nhau 1,5 lần. Độ chính xác không cao theo các tác giả Kinzelbach et al., (2002) [1] liên quan đến độ chính xác của các thông số lan truyền ẩm đối với loại đất nghiên cứu, liên quan đến sự liên hệ không phù hợp giữa điều kiện mô hình điều kiện thực tế, đến sự phân tích các đợt mưa chưa phù hợp,... Trong nghiên cứu này, độ tin tưởng chưa hoàn toàn có được là mối quan hệ giữa hệ số thấm không bão hòa và độ ẩm được sử dụng theo Jiunsheng Li và Hiroshi Kawano (1997) [5]. Các hệ số trong mối quan hệ này cần được chính xác hóa đối với đất khu vực nghiên cứu.

Kết quả ước tính bổ cập cho nước dưới đất từ nước mưa thấm vào đới không bão hòa trong mùa mưa có thể được xem là đại lượng nước mưa bổ cập cho nước dưới đất tiềm năng vì nước dưới đất sau khi được bổ cập có thể thoát khỏi tầng chứa nước qua bốc hơi, thoát ra kênh rạch ao hồ có mực nước thấp xuống hơn sau khi các đợt mưa kết thúc,... Kết quả tính toán đại lượng nước mưa ngấm vào đới không bão hòa cung cấp cho nước dưới đất có thể sử dụng làm cơ sở cho tính toán cân bằng nước nhằm quản lý tài nguyên nước khu vực.

Đại lượng ngấm của nước mưa xác định theo phương pháp lan truyền ẩm trong đất không bão hòa đối với đất sét, sét pha và đất bột đối với khu vực nghiên cứu cho kết quả rất

tương đồng với các nghiên cứu trước đây, như theo Đặng Hữu Ôn và nnk., (2005) [8] xác định được nằm trong khoảng 7,4–15,2% lượng mưa năm, chính là giá trị thường được các nhà ĐCTV Việt Nam sử dụng từ 10–15% ở điều kiện thuận lợi lên đến 20% và theo Nguyễn Đức Rời (2014) [9] cho kết quả tính theo phương pháp tỷ số mưa cộng dồn xuất phát xác định được có giá trị từ 13% đối với lỗ khoan QT119, 12–16% đối với QT129 và QT130 tại tỉnh Hưng Yên. Riêng đối với đất cát pha đại lượng ngấm tương đối lớn lên đến 30,95%. Điều này là phù hợp về mặt lý thuyết vì đất có hệ số thấm và lan truyền ẩm cao.

## KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Mô hình lan truyền ẩm kết hợp với phân tích số liệu mưa giờ năm 2015 cho kết quả nước dưới đất được nước mưa cung cấp qua lớp đất bề mặt là đất sét là 0,233 m, đất bột là 0,338 m, bột pha cát là 0,374 m và cát pha là 0,561 m, trung bình là 0,374 m. So với tổng lượng mưa trong năm thì tỷ lệ nước mưa ngấm cung cấp cho nước dưới đất từ 12,85% (qua đất sét, sét pha thấm yếu) đến 30,95% (qua lớp đất cát pha), trung bình là 20,63%.

Kết quả cho thấy rằng mô hình lan truyền ẩm là công cụ hữu hiệu phục vụ đánh giá mưa ngấm cung cấp cho NDĐ, kể cả quá trình cung cấp cho NDĐ từ các kênh thủy lợi và nước tưới. Mô hình chỉ yêu cầu các thông số bình thường của đất là hệ số thấm, độ lỗ rỗng và độ ẩm tự nhiên cùng với số liệu mưa giờ được quan trắc tại rất nhiều trạm khí tượng ở các địa phương.

Việc xác định đại lượng nước mưa ngấm cung cấp cho NDĐ trên khu vực sẽ được tiến hành khi xác định được diện tích đất tương ứng đối với từng loại đất được mô hình tính toán. Vì vậy, đối với khu vực nghiên cứu là huyện ven biển Thái Thụy tỉnh Thái Bình cần tiến hành công tác điều tra và phân tích tổng hợp tài liệu diện tích phân bố các loại đất lớp đất trên mặt để tính toán đại lượng mưa cung cấp trên từng diện tích đất và trên bộ diện tích của huyện.

Công tác làm chính xác hóa chiều dày các lớp đất bề mặt, hệ số thấm theo phương thẳng đứng, độ lỗ rỗng, độ ẩm tự nhiên và mối quan hệ giữa hệ số thấm không bão hòa và độ ẩm đối

với các loại đất trên khu vực nghiên cứu cần được tiến hành nhằm đảm bảo độ chính xác và độ tin cậy của công tác nghiên cứu xác định đại lượng nước mưa ngầm cung cấp cho nước dưới đất theo phương pháp luận được trình bày trong bài báo.

**Lời cảm ơn:** Bài báo được hoàn thành trong khuôn khổ đề tài cấp cơ sở năm 2019 “Nghiên cứu đánh giá đại lượng ngầm tiềm năng nước mưa cho nước dưới đất khu vực tỉnh Thái Bình” và hỗ trợ hoạt động nghiên cứu khoa học NVCC11.01/18–18.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Kinzelbach, W., Aeschbach, W., Alberich, C., Goni, I. B., Beyerle, U., Brunner, P., Chiang, W.-H., Rueedi, J., and Zoellmann, K., 2002. A survey of methods for groundwater recharge in arid and semi-arid regions. *Early Warning and Assessment Report Series, UNEP/DEWA/RS.02-2. United Nations Environment Program, Nairobi, Kenya.* ISBN 92-80702131-3.
- [2] Bear, J., and Verruijt, A., 1987. Modeling groundwater flow and pollution (Vol. 2). *Springer Science & Business Media.*
- [3] Polubarinova-Kochina, P. Ya., 1977. The theory of groundwater motion. *Science, Moscow.*
- [4] Zienkiewicz, O. C., and Morgan, K., 1983. Finite elements and approximation. *John Wiley and Sons, New York.*
- [5] Jiunsheng Li and Hiroshi Kawano, 1997. Sprinkler Water Utilization Efficiency. *Journal of International Rainwater Catchment Systems*, 3(1), 41–51.
- [6] Lê Văn Hiến, Bùi Học, Châu Văn Quỳnh, Đặng Hữu Ôn, Nguyễn Thị Tâm, Trần Minh, 2000. Nước dưới đất đồng bằng Bắc Bộ. *Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam xuất bản. Hà Nội.* 111 tr.
- [7] Fetter, C. W., 2001. Applied hydrogeology. *Prentice Hall Upper Saddle River.*
- [8] Đặng Hữu Ôn, Bạch Ngọc Quang, Đào Văn Quang, 2005. Xác định giá trị cung cấp của nước mưa cho nước dưới đất theo tài liệu quan trắc động thái nhiều năm tại sân cân bằng Như Quỳnh. *Tạp chí Địa chất*, Số 300/5-6/2007, tr. 50–56.
- [9] Nguyen Duc Roi, 2014. Estimation of Groundwater Recharge of the Holocen Aquifer from Rainfall by RIB Method for Hưng Yên Province. *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*, 30(4), 53–66.