

Nghiên cứu xác định độ lỗ rỗng hữu hiệu và độ phân tán tầng chứa nước Pleistocen khu vực Mộ Lao, Quận Hà Đông, Thành phố Hà Nội

Nguyễn Thế Chuyên¹, Vũ Ngọc Đức¹, Đào Trọng Tú¹, Nguyễn Văn Hoàng^{2,*}

¹Trung tâm Dữ liệu Quy hoạch và Điều tra Tài nguyên nước-Trung tâm QH&ĐTTNN Quốc gia, 93/95 Vũ Xuân Thiều, Sài Đồng, Long Biên, Hà Nội, Việt Nam

²Viện Địa chất-Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 84 phố Chùa Láng, Láng Thượng, Đống Đa, Hà Nội

Nhận ngày 16 tháng 11 năm 2016

Chỉnh sửa ngày 12 tháng 02 năm 2017; Chấp nhận đăng ngày 15 tháng 03 năm 2017

Tóm tắt: Thí nghiệm hiện trường hút nước và ép dung dịch muối được tiến hành nhằm xác định các thông số lan truyền chất ô nhiễm trong nước dưới đất tại khu vực Mộ Lao, quận Hà Đông, TP. Hà Nội nơi giữa tầng chứa nước Holocen và Pleistocen tồn tại cửa sổ địa chất thủy văn. Thí nghiệm được tiến hành với lưu lượng hút nước là 5l/s và lưu lượng ép dung dịch muối là 0,5l/s với nồng độ muối là 5g/l. Thời gian hút nước thí nghiệm là 170h, dung dịch muối bắt đầu được ép sau khi đã tiến hành hút nước được 8h và thời gian ép dung dịch muối là 12h. Phân tích xác định các thông số lan truyền chất ô nhiễm bằng số liệu thí nghiệm hiện trường là một bài toán khó khăn và phức tạp do điều kiện thí nghiệm không cho lời giải giải tích. Kết quả thí nghiệm cho thấy mặc dù thời gian ép dung dịch muối kéo dài tới 12h, đường nồng độ muối tại lỗ khoan hút nước vẫn có dạng hình chuông đặc trưng cho ép dung dịch muối chỉ trong một thời gian rất ngắn. Kết quả xác định thông số dựa trên nguyên tắc tổng hiệu bình phương bé nhất giữa nồng độ muối quan trắc và nồng độ muối tính theo mô hình cho giá trị độ lỗ rỗng hữu hiệu bằng 0,280 và độ phân tán dọc bằng 0,64m (cho hệ số phân tán thủy động lực từ $D \approx 22\text{m}^2/\text{ngày}$ sát mép lỗ khoan hút nước tới $D \approx 3\text{m}^2/\text{ngày}$ sát mép lỗ khoan ép dung dịch chất chỉ thị), ứng với tổng hiệu bình phương trung bình bé nhất là 0,0047, tức sai số trung bình giữa nồng độ muối quan trắc và mô hình là 0,068g/l với nồng độ tương đối lớn nhất là 1g/l. Kết quả cũng cho thấy theo mô hình một chiều thì nồng độ muối tại mép lỗ khoan hút nước lớn gấp khoảng 4 lần nồng độ muối trong lỗ khoan.

Từ khóa: Hút nước thí nghiệm, ép dung dịch, lan truyền chất ô nhiễm, độ lỗ rỗng hữu hiệu, độ phân tán, tổng hiệu bình phương nhỏ nhất.

1. Mở đầu

Với sự phát triển kinh tế xã hội mạnh mẽ của thủ đô Hà Nội và sự gia tăng dân số cơ học tại đây, các nguồn nước mặt đã bị ô nhiễm một cách đáng kể, trong đó các nguồn nước thủy lợi

trước đây cũng đã trở thành nguồn nước thải sinh hoạt của thành phố, mà sông Nhuệ là một điển hình, sau đó là sông Đáy: các đoạn sông Nhuệ chảy qua Phúc La, quận Hà Đông trước khi tiếp nhận nước từ sông Tô Lịch bị ô nhiễm nặng theo các chỉ tiêu COD và BOD₅ (lớn từ 3 đến 4 lần quy chuẩn quốc gia), ngay sau nơi sông Nhuệ nhận nước từ sông Tô Lịch nước có hàm lượng Amoni không đạt tiêu chuẩn quốc

* Tác giả liên hệ. ĐT: 84-912150785.

Email: N_V_Hoang_VDC@yahoo.com

gia loại B theo QCVN 08 [1]. Trong khi đó trong các tầng chứa nước khu vực Hà Nội được khai thác phục vụ các nhu cầu kinh tế xã hội luôn tồn tại các cửa sổ địa chất thủy văn (ĐCTV) [2] tạo nên mối quan hệ thủy lực giữa nước mặt và nước dưới đất (NDD), như tại khu vực lòng Hồ Tây, lòng sông Hồng, sông Đuống, sông Nhuệ... nên NDD luôn có nguy cơ bị nhiễm bẩn bởi các nguồn nước mặt ô nhiễm.

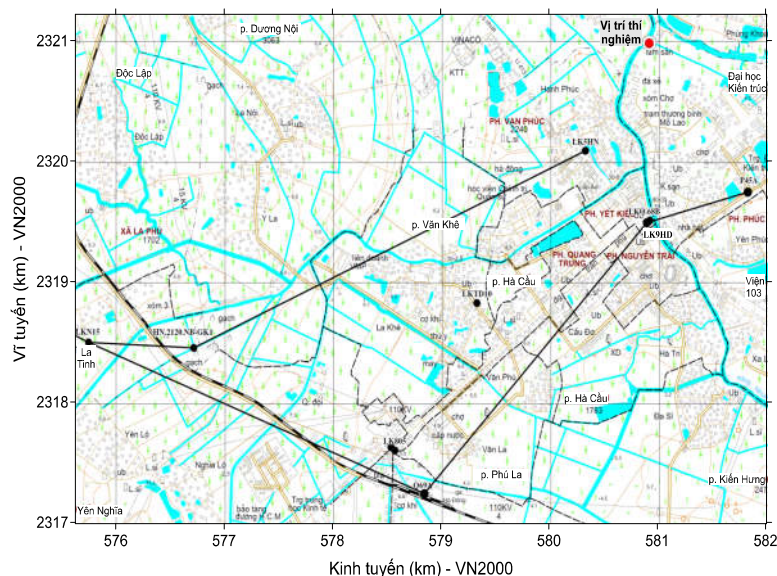
Để có thể tiến hành đánh giá dự báo quá trình ô nhiễm NDD do xâm nhập các chất ô nhiễm từ các nguồn nước mặt bị ô nhiễm, và lan truyền các chất ô nhiễm trong các tầng chứa nước, các thông số lan truyền chất hoà tan trong NDD của các tầng chứa nước là độ lỗ rỗng hữu hiệu và độ phân tán cần phải được xác định. Hai thông số này có thể được xác định bằng thí nghiệm trong phòng hoặc thí nghiệm ngoài thực địa.

Thí nghiệm trong phòng tiến hành tương đối thuận lợi và phân tích tính toán các thông số lan truyền không phức tạp do điều kiện thủy lực dòng chảy hoàn toàn ổn định theo không gian và thời gian cũng như điều kiện biên về nồng độ chất hoà tan không thay đổi và được xác lập chính xác. Tuy nhiên, đất đá thí nghiệm đã bị phá huỷ hoàn toàn so với thực tế vì đất đá tầng chứa nước là các loại trầm tích bờ rời nên giá trị thông số là không đúng giá trị thực của chúng.

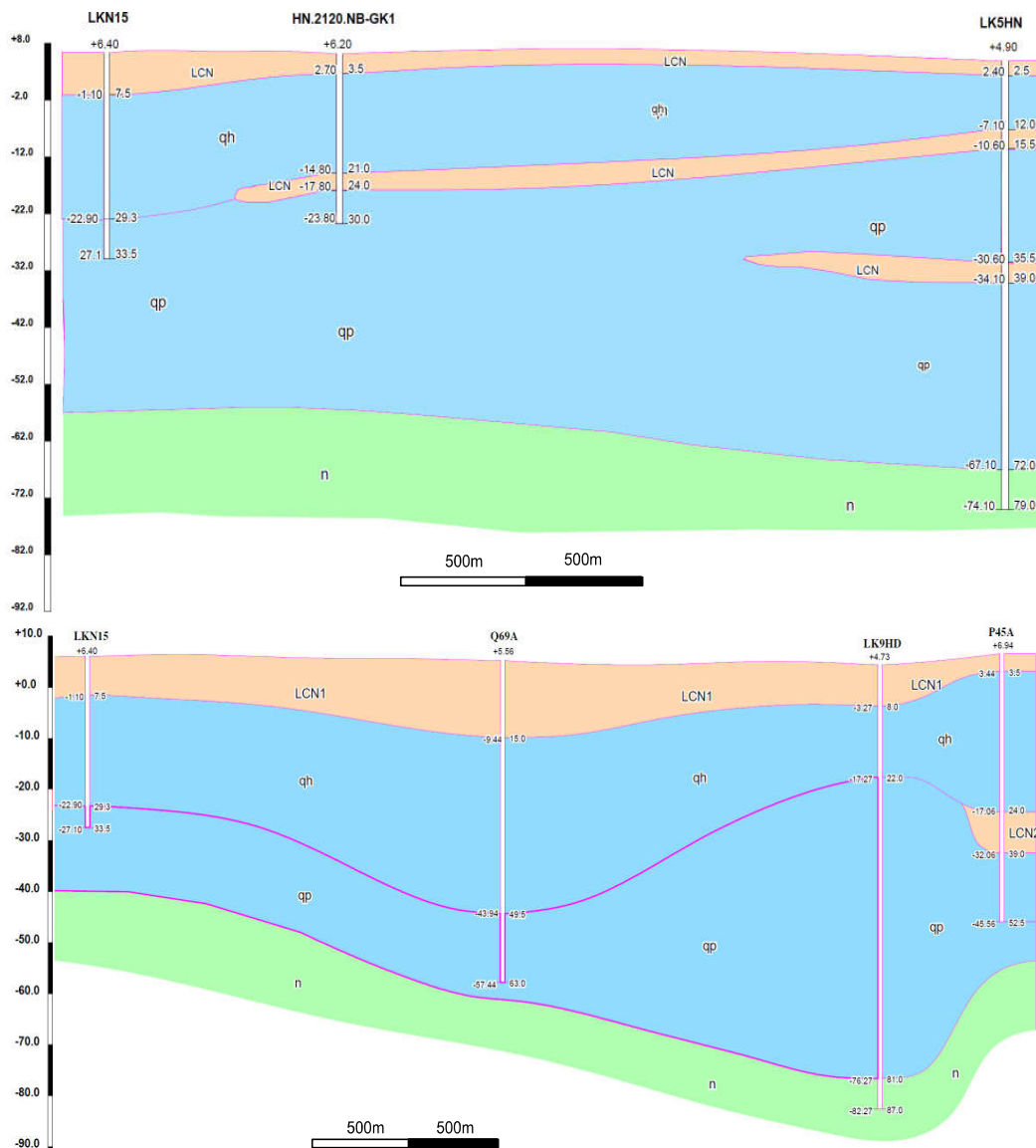
Thí nghiệm ngoài thực địa tiến hành rất công phu và tốn kém, điều kiện động lực dòng chảy (vận tốc dòng chảy) thay đổi theo không gian, điều kiện biên của chất hoà tan xác định khó khăn hơn và rất khó có thể xác lập không thay đổi theo thời gian... nên việc phân tích số liệu thí nghiệm và xác định thông số lan truyền rất phức tạp. Một đặc tính ưu việt nổi trội của thí nghiệm hiện trường là giá trị thông số phản ánh đúng điều kiện thực tế của tầng chứa nước. Vì vậy, trong khuôn khổ Dự án "Bảo vệ nước dưới đất ở các đô thị lớn (Phạm vi: Đô thị Hà Nội)" [3] đã tiến hành thí nghiệm xác định các thông số lan truyền chất hoà tan trong NDD tại hiện trường. Bài viết trình bày phương pháp xác định các thông số lan truyền chất ô nhiễm phù hợp với điều kiện và số liệu thí nghiệm hiện trường.

2. Khu vực nghiên cứu và sơ đồ thí nghiệm

Tại quận Hà Đông, khu vực phía bờ phải sông Nhuệ, nhiều nơi tầng chứa nước Holocen và tầng chứa nước qp có quan hệ thủy lực chặt chẽ do không có mặt lớp thấm nước yếu hoặc cách nước giữa chúng (hình 2). Nhiều nơi đáy sông Nhuệ nằm trực tiếp trong tầng chứa nước Holocen. Vì vậy nguy cơ ô nhiễm NDD tầng Holocen và tầng qp từ nước sông Nhuệ là không thể loại trừ.



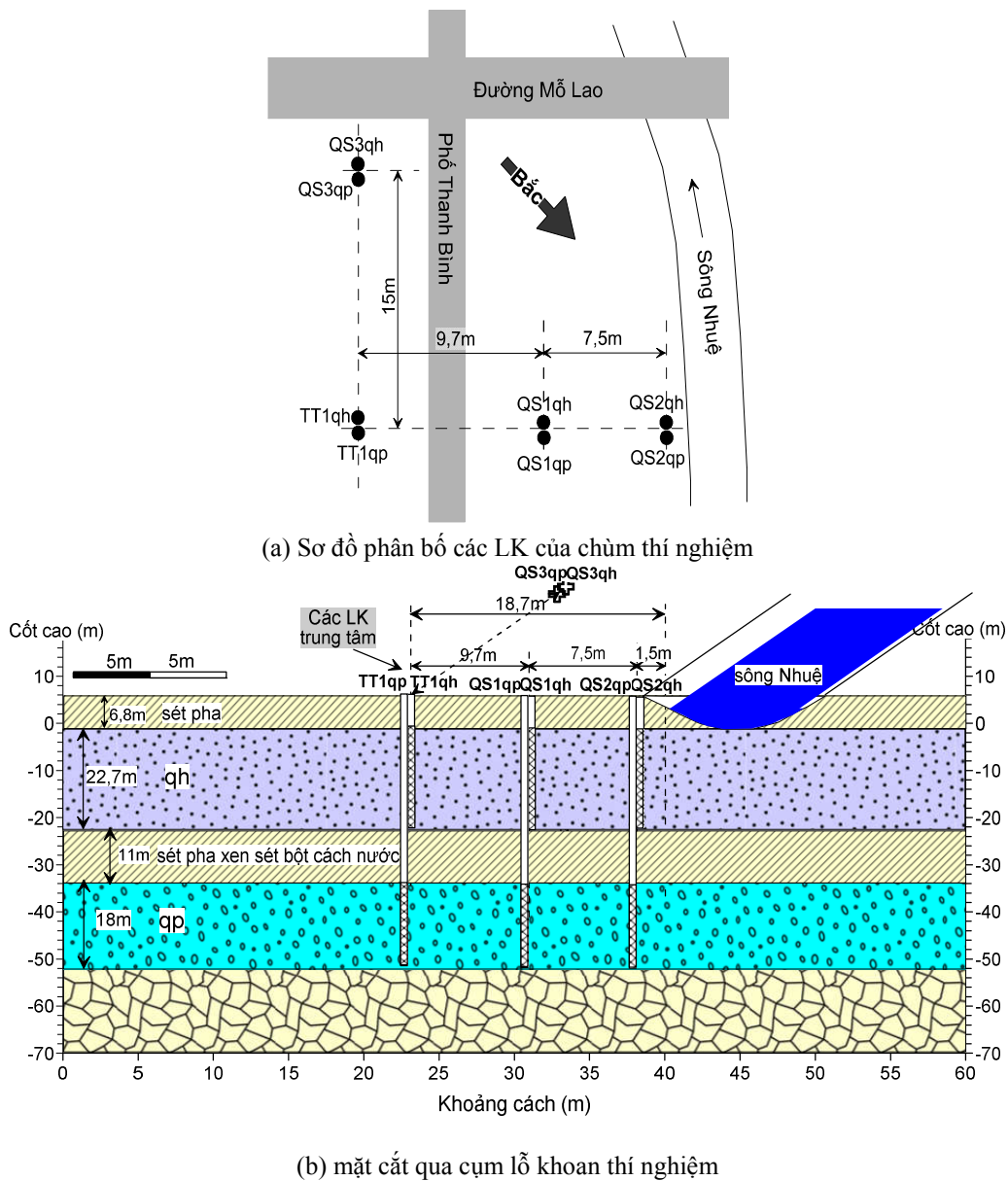
Hình 1. Bản đồ các tuyến mặt cắt ĐCTV và vị trí thí nghiệm.



Hình 2. Các mặt cắt ĐCTV.

Nhằm xác định các thông số lan truyền chất ô nhiễm của tầng chứa nước qp, thiết kế và lựa chọn khu vực thí nghiệm hút nước và ép dung dịch muối tại hiện trường đã được tiến hành. Khoảng cách giữa các lỗ khoan (LK) thí nghiệm, nồng độ chất chỉ thị (trong trường hợp này là muối ăn), lưu lượng hút nước từ LK trung tâm và lưu lượng ép dung dịch muối được xác định trên cơ sở thời gian thí nghiệm được phê duyệt và nồng độ muối trong nước LK hút

nước có thể đạt được giá trị lớn hơn nồng độ muối trong nước tự nhiên khoảng 15% nhằm có độ chính xác trong tính toán. Do điều kiện hạ tầng cơ sở hiện có trên khu vực không cho phép lấy bất kỳ vị trí nào để thí nghiệm nên vị trí thí nghiệm đã được lựa chọn nằm tại cuối đường Thanh Bình, bên bờ trái sông Nhuệ sát cầu Mộ Lao, quận Hà Đông, TP. Hà Nội (hình 3a). Mặt cắt ĐCTV qua các LK theo tuyến vuông góc với sông Nhuệ thể hiện trên hình 3b.



Hình 3. Sơ đồ bố trí các LK và mặt cắt qua cụm lỗ khoan thí nghiệm.

LK trung tâm TT1qp là LK hút nước có đường kính ngoài là 127mm và LK QSqp1 là LK ép dung dịch chất chỉ thị có đường kính ngoài là 90mm. Thời gian hút nước thí nghiệm là 170h và thời gian ép dung dịch muối là 12h. Lưu lượng hút nước là 527m³/ngày (6,1l/s) và lưu lượng ép dung dịch chất chỉ thị là 43m³/ngày (0,5l/s). Dung dịch muối bắt đầu được ép sau khi đã tiến hành hút nước được 8h,

là thời gian mà chế độ dòng chảy đã đạt ổn định khá lâu theo điều kiện (Fetter, 2001) [4]:

$$u = \frac{S^* r^2}{4Tt} < 0,05 \Rightarrow t > \frac{S^* r^2}{0,05 \times 4T} \quad (1)$$

Trong đó: S^* là hệ số nhả nước đàn hồi của tầng; T là hệ số dẫn nước (m²/ngày) và r là khoảng cách từ LK hút nước tới điểm xem xét (m).

Đối với tầng chứa nước Pleistocen, nếu lấy giá trị S^* rất lớn, bằng 0.01 và T rất nhỏ, bằng $200\text{m}^2/\text{ngày}$, thì thời gian mực nước đạt ổn định ở vị trí LK Qsqp1 chỉ là 0,564 giờ.

Nồng độ muối được xác định qua công thức biểu diễn mối tương quan giữa nồng độ muối ăn và độ dẫn điện được qui đổi ra ở điều kiện nhiệt độ bằng 25 độ C. Độ tổng khoáng hoá của NĐĐ tự nhiên là 0,195g/l và nồng độ muối ăn được hoà vào NĐĐ là 5g/l. Nồng độ tổng cộng tạo nên từ dung dịch muối thí nghiệm và các chất khoáng hoá trong NĐĐ tự nhiên sẽ được sử dụng và từ đây về sau gọi là nồng độ muối. Nước trong LK ép dung dịch muối luôn được xáo trộn bởi ống ép dung dịch thường xuyên nâng lên và hạ xuống trong toàn bộ chiều dày cột nước trong LK. Đầu đo độ dẫn điện tự động được đặt ở vị trí giữa tầng chứa nước. Độ dẫn điện của nước trong LK hút nước được đo quan trắc.

3. Phương pháp xác định độ lỗ rỗng hữu hiệu và độ phân tán dọc

3.1. Cơ sở của phương pháp

Vai trò của giá trị độ lỗ rỗng hữu hiệu và phân tán thủy động lực trong lan truyền chất hoà tan trong NĐĐ có thể được minh hoạ trên hình (4) [5]. Vận tốc thực V của dòng chảy NĐĐ phụ thuộc vào độ lỗ rỗng hữu hiệu. Khi chất hoà tan xuất hiện trong tầng chứa nước trong một khoảng thời gian rất ngắn thì nồng độ chất hoà tan ở một điểm phía hạ lưu dòng chảy nằm cách nó khoảng cách L có giá trị lớn nhất vào thời điểm (t) tính từ khi nó xuất hiện là $t=L/V$ (hình 4). Do cơ chế phân tán thủy động lực nên nồng độ chất hoà tan phân tán theo mọi hướng tạo nên các đường đẳng nồng độ có dạng hình elip trong diện tích (hình 4). Hệ số phân tán thủy động lực chỉ có thể xác định được bằng phương pháp giải tích trong một số trường hợp dòng chảy một chiều và hai chiều có các điều kiện nhất định như vận tốc dòng NĐĐ không thay đổi, dòng chảy một hoặc hai chiều, các

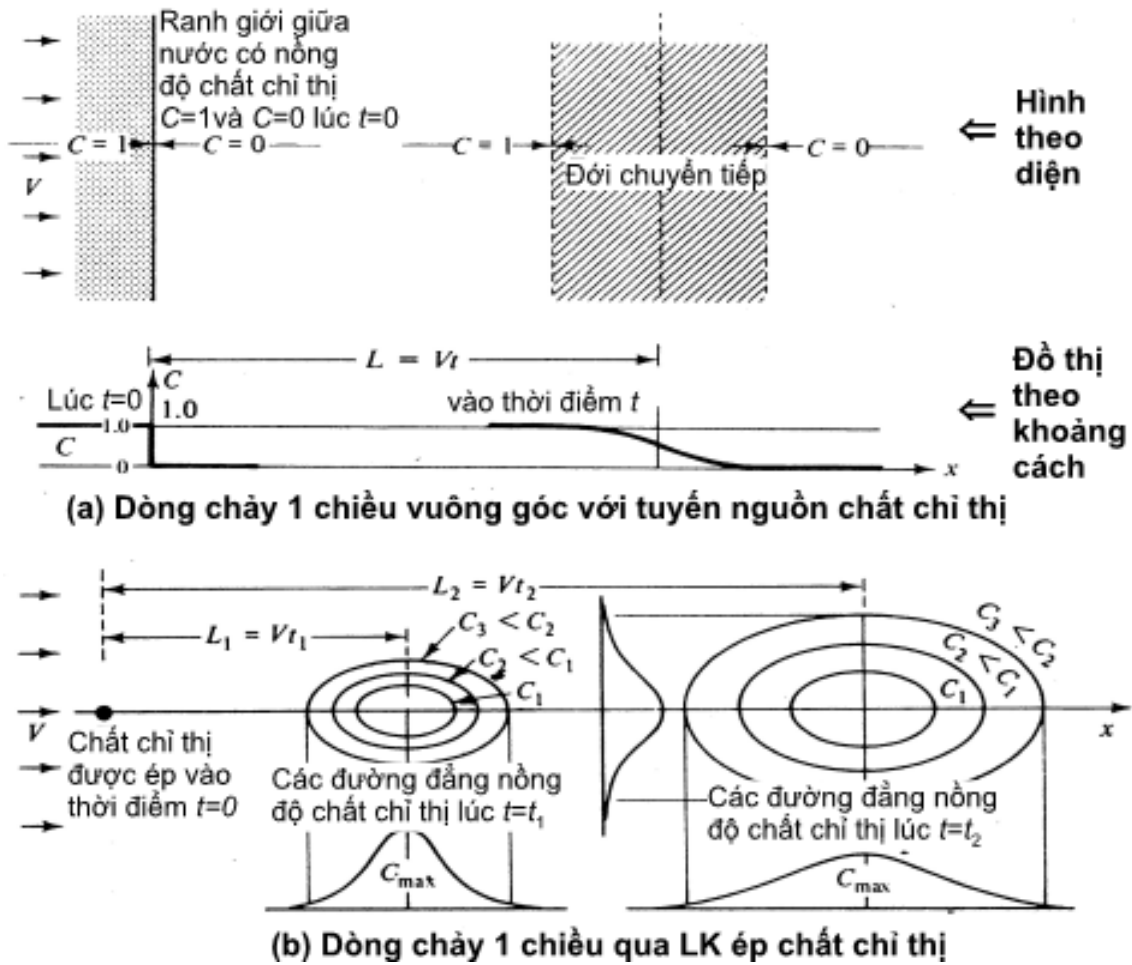
thông số tầng chứa nước không thay đổi, điều kiện biên về chất hoà tan không thay đổi.... Trong thực tế luôn luôn một hoặc thậm chí các điều kiện này không thoả mãn, nên chỉ có thể xác định được bằng phương pháp mô hình số. Trong trường hợp dòng chảy một chiều, nếu nồng độ chất hoà tan ở phía biên thượng lưu được giữ không thay đổi thì nồng độ chất hoà tan ở một điểm phía hạ lưu dòng chảy nằm cách nó khoảng cách L có giá trị bằng 0,5 giá trị nồng độ ở biên thượng lưu vào thời điểm (t) tính từ khi nó xuất hiện là $t=L/V$ (hình 4).

Như vậy, số liệu sử dụng để xác định các thông số lan truyền chất chỉ thị là đường phân bố nồng độ chất chỉ thị theo không gian vào thời điểm nhất định hoặc đường phân bố nồng độ chất chỉ thị theo thời gian tại một vị trí xác định. Các đường phân bố nồng độ này được xác định trong các thí nghiệm.

3.2. Đường cong phân bố nồng độ muối trong thí nghiệm tại Mộ Lao

Đường cong nồng độ muối của nước trong LK ép dung dịch muối thể hiện trên hình 5 và trong LK hút nước thể hiện trên hình 6.

Độ dẫn điện của nước trong LK ép nước được đo quan trắc từ khi bắt đầu ép dung dịch đến hết giờ thứ 12 tính từ khi bắt đầu ép dung dịch muối. Từ khi bắt đầu ép dung dịch vào LK, nồng độ chất chỉ thị trong nước LK được tăng dần một cách gần như tuyến tính (hình 5) tới khoảng 4h (gọi là giai đoạn I), sau đó nồng độ chất chỉ thị đạt giá trị ổn định dao động xung quanh giá trị khoảng 1,14g/l tới khi kết thúc ép dung dịch muối (gọi là giai đoạn II) do có sự xáo trộn liên tục lưu lượng nước ép vào LK và NĐĐ tự nhiên thấm vào LK. Từ đây có thể suy ra rằng sau khi dùng ép dung dịch muối, chỉ có NĐĐ tự nhiên thấm vào LK và pha trộn với nước có dung dịch muối trong LK và quá trình này tương tự như trong giai đoạn I, nhưng ngược lại là pha loãng dung dịch muối (gọi là giai đoạn III). Nồng độ dung dịch muối giai đoạn III này được nội suy theo số liệu ở giai đoạn I (hình 5).

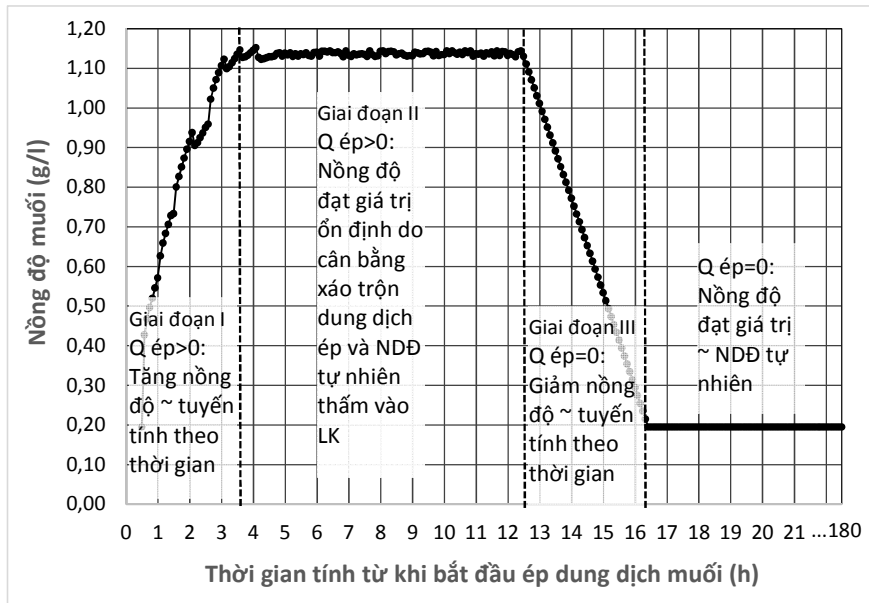


Hình 4. Vai trò của độ lỗ rỗng hữu hiệu và hệ số phân tán thủy động lực lan truyền chất hoà tan trong NDD: trên diện tích [5].

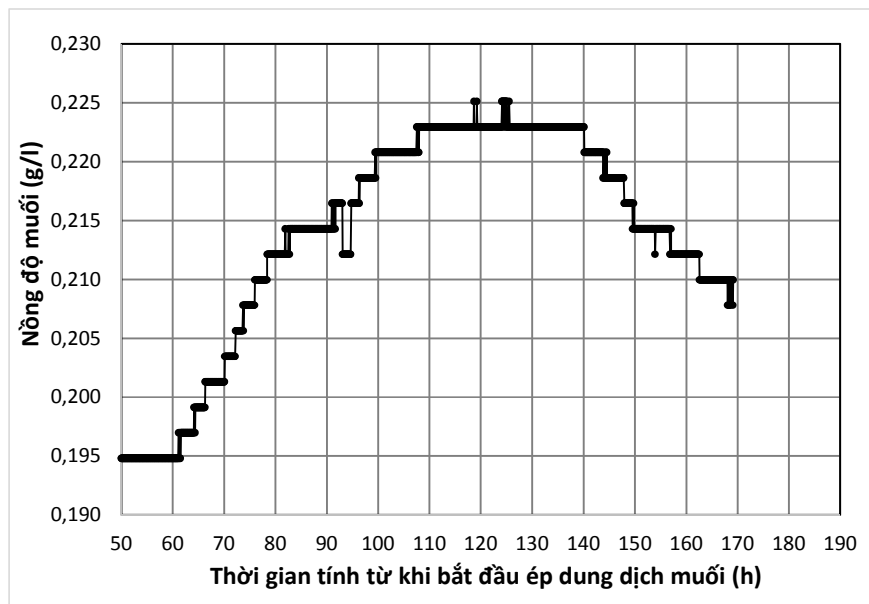
Nồng độ dung dịch muối của NDD trong LK hút nước cũng được xác định qua độ dẫn điện được đo tự động bằng thiết bị tự ghi đặt trong LK hút nước. Số liệu cho thấy nồng độ dung dịch muối của NDD trong LK hút nước chỉ bắt đầu tăng ở giờ thứ 61,5h và có dạng đường parabol đạt cực đại giờ thứ 125h, và có xu thế đạt cực tiểu ở giờ thứ 185h (hình 6).

Như vậy với thực tế ép dung dịch muối trong thời gian 12h là tương đối dài (nhưng không phải là trong suốt thời gian thí nghiệm) nên nồng độ muối của NDD trong LK hút nước

phải thị tương ứng với điều kiện trung gian giữa trường hợp (a) và (b) trên hình 4, tức là đường cong phân bố nồng độ muối của NDD trong LK hút nước phải có dạng giữa hai đường cong trên hình 4(a) và 4(b). Tuy nhiên hình 6 thể hiện phân bố nồng độ muối lại có dạng theo đường cong trong trường hợp (b) ở hình 4. Đây có lẽ là một hiện tượng rất cần phải lưu ý và xem xét trong các thí nghiệm ép chất chỉ thị trong LK vì nó ảnh hưởng rất lớn đến phân tích tính toán các thông số lan truyền chất hoà tan trong các tầng chứa nước.



Hình 5. Nồng độ muối NDD trong LK ép dung dịch muối.



Hình 6. Nồng độ muối NDD trong LK hút nước.

3.3. Xác định độ lỗ rỗng hữu hiệu và hệ số phân tán thủy động lực theo thí nghiệm hút nước và ép chất chỉ thị

Phương trình lan truyền vật chất mô tả cơ chế dịch chuyển (đổi lưu) và phân tán thủy

động lực của NDD có hướng dòng chảy chính theo phương x trong không gian một chiều (x, y) được viết như sau (Bear và Verruijt, 1987)[5]:

$$D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - U_x \frac{\partial C}{\partial x} = R \frac{\partial C}{\partial t} \quad (2)$$

Trong đó: D_x : hệ số phân tán thủy động lực học theo hướng x (L^2/T), C : nồng độ chất hoà tan trong nước (M/L^3), U_x ($U=V/n_{hh}$) vận tốc thực của dòng nước tương ứng theo hướng x và y (M/T), V : vận tốc Đắc-xi; n_{hh} : độ lỗ rỗng hữu hiệu; R : hệ số chậm trễ; t : thời gian (T);

Hệ số phân tán thủy động lực xác định theo công thức sau [5]:

$$D_x = D'_x + D_d^*; D'_x = a_L U \quad (3)$$

Trong đó: D'_x : hệ số phân tán cơ học tương ứng theo hướng x và y (L^2/T); D_d^* : hệ số khuếch tán phân tử trong môi trường rỗng (L^2/T); a_L : độ phân tán dọc.

Khuếch tán phân tử tạo ra quá trình truyền vật chất từ nơi có nồng độ cao đến nơi có nồng độ thấp tạo nên dòng lan truyền vật chất do khuếch tán phân tử là (Ghislain de Marsily, 1987) [6]:

$$-\frac{D_d}{nF_R} \nabla c = -\mathbf{D}_d^* \cdot \nabla c \Rightarrow D_d^* = \frac{D_d}{nF_R} \quad (4)$$

Trong đó:

+ D_d là hệ số khuếch tán phân tử của chất hoà tan trong môi trường lỏng (L^2T^{-1}), là một hệ số đẳng hướng:

$$D_d = \frac{R_{LT} T}{N} \frac{1}{6\pi r \mu} \quad (5)$$

+ R_{LT} là hằng số của khí lý tưởng, N - số Avogadro và bằng $6,023 \times 10^{23}$, T - nhiệt độ tuyệt đối ($=^{\circ}C + 273,15$), μ - độ nhớt của chất lỏng, r - bán kính trung bình của phân tử chất hoà tan. Hệ số khuếch tán D_d dao động trong khoảng $10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s} \div 2 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ đối với môi trường dung dịch ở nhiệt độ $20^{\circ}C$ cho đại đa số các ion, thí dụ cho muối ăn là $1,3 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$.

+ F_R : Hệ số trầm tích được các nhà địa vật lý cho là tỷ số giữa điện trở suất của trầm tích và điện trở suất của chất lỏng chứa trong môi trường trầm tích. F_R thay đổi từ 0,1 (đối với sét) đến 0,7 (đối với cát) (Ghislain de Marsily, 1987) [6], và luôn bé hơn 1 (Bear, 1972) [7].

+ n : độ lỗ rỗng tổng cộng (do khuếch tán phân tử diễn ra kể cả trong các lỗ rỗng chết).

Như vậy đối với tầng chứa nước qđ có thể lấy $F_r=0,7$, độ lỗ rỗng tổng cộng bằng 0,40 (độ lỗ rỗng tổng cộng của cát cuội sỏi có độ đồng đều cao dao động trong khoảng 0,30-0,50 (Fetter, 2001)[4]), đối với dung dịch thí nghiệm là muối lấy $D_d=1,3 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s} = 0,112 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{ngày}$ ta có hệ số khuếch tán phân tử muối trong tầng chứa nước là $D_d^*=0,0004 \text{ m}^2/\text{ngày}$.

Phương trình (2) chỉ có lời giải duy nhất khi có đầy đủ các điều kiện ban đầu và điều kiện biên được mô tả như sau:

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

$$C = C_o(x, y) \quad (6)$$

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

- Biên có nồng độ đã biết:

$$C = C_c \text{ trên } \Gamma_c \quad (7)$$

- Biên có gradient nồng độ pháp tuyến với đường biên đã biết (biên Neumann):

$$\frac{\partial C}{\partial \mathbf{n}} = q \text{ trên } \Gamma_{qc} \quad (8)$$

- Biên có dòng chất hoà tan khuếch tán-lôi cuốn pháp tuyến với biên đã biết (biên Cauchy):

$$V_n C - D_n \frac{\partial C}{\partial n} = \frac{V_0 C_v}{n} \text{ trên biên } \Gamma_{qv} \quad (9)$$

ở đây: V_0, C_v tương ứng là vận tốc dòng chảy và nồng độ chất hoà tan trong nước qua biên.

3.4. Phương pháp phần tử hữu hạn

Chia miền mô hình ra các phần tử, sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH) có hàm dạng tuyến tính đối với phương trình (2) với sơ đồ sai phân trung tâm về thời gian (bước thời gian là Δt_n có thể thay đổi) ta có hệ phương trình tuyến tính sau (Nguyễn Văn Hoàng) [8]:

$$\left(\frac{1}{2}[A] + \frac{[B]}{\Delta t_n} \right) \{C_{n+1}\} + \left(\frac{1}{2}[A] - \frac{[B]}{\Delta t_n} \right) \{C_n\} = \frac{1}{2}\{F_n\} + \frac{1}{2}\{F_{n+1}\} \quad (10)$$

Trong đó $[A]$ và $[B]$ là các ma trận hình vuông kích thước $M \times M$, $\{C\}$; $\{F_n\}$ và $\{F_{n+1}\}$ là ma trận cột kích thước M . Nồng độ ở bước thời gian $n+1$ là $\{C_{n+1}\}$ được xác định qua nồng độ ở bước thời gian n trước đó $\{C_n\}$.

Để đảm bảo độ chính xác của kết quả mô hình, bước thời gian Δt và bước lưới Δx phải thỏa mãn yêu cầu về số Peclet và số Courant như sau (Huyakorn and Pinder, 1983) [9]:

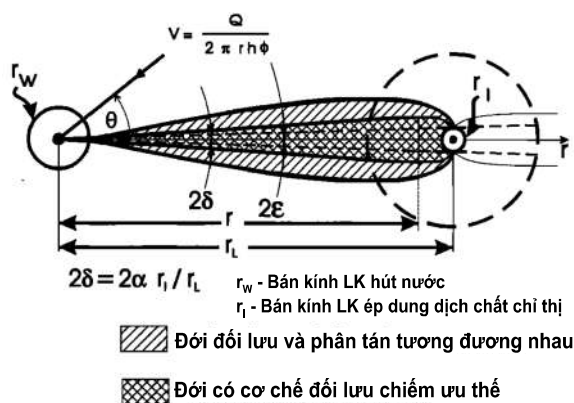
$$\text{Peclet: } Pe = \frac{V_{x,i} \Delta x_i}{D_{x,i}} \leq 2; \quad \text{Courant: } Cr = \frac{V_{x,i} \Delta t}{\Delta x_i} \leq 1 \quad (11)$$

Chương trình mô hình phần tử hữu hạn lan truyền chất hoà tan trong NĐĐ được sử dụng từ kết quả của Đề tài nghiên cứu cơ bản định hướng ứng dụng của tác giả Nguyễn Văn Hoàng [10]. Chương trình được liên kết với thuật toán tổng hiệu bình phương bé nhất để xác định thông số.

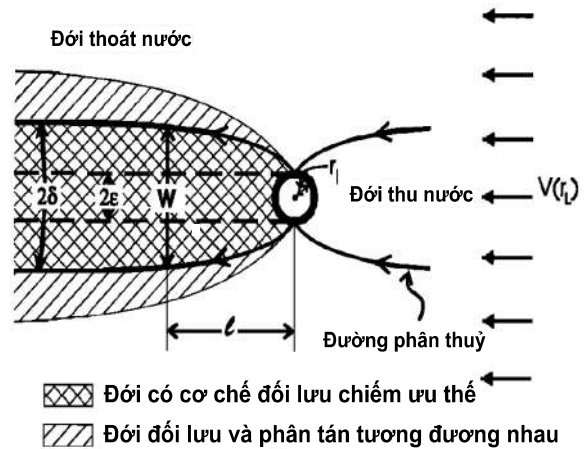
3.5. Phương pháp mô hình hoá xác định các thông số lan truyền

Đối với trường hợp hút nước từ LK trung tâm và ép dung dịch vào LK ở gần miền lan truyền có các cơ chế lan truyền chính theo Zlotnik và David (1996) [11] thể hiện trên hình 8.

Chiều rộng W của đới thu nước từ phía thượng lưu dòng chảy vào LK ép nước và đới cấp nước từ LK ép nước cho đới hạ lưu dòng chảy theo Drost và nnk, 1968 [12] có giá trị



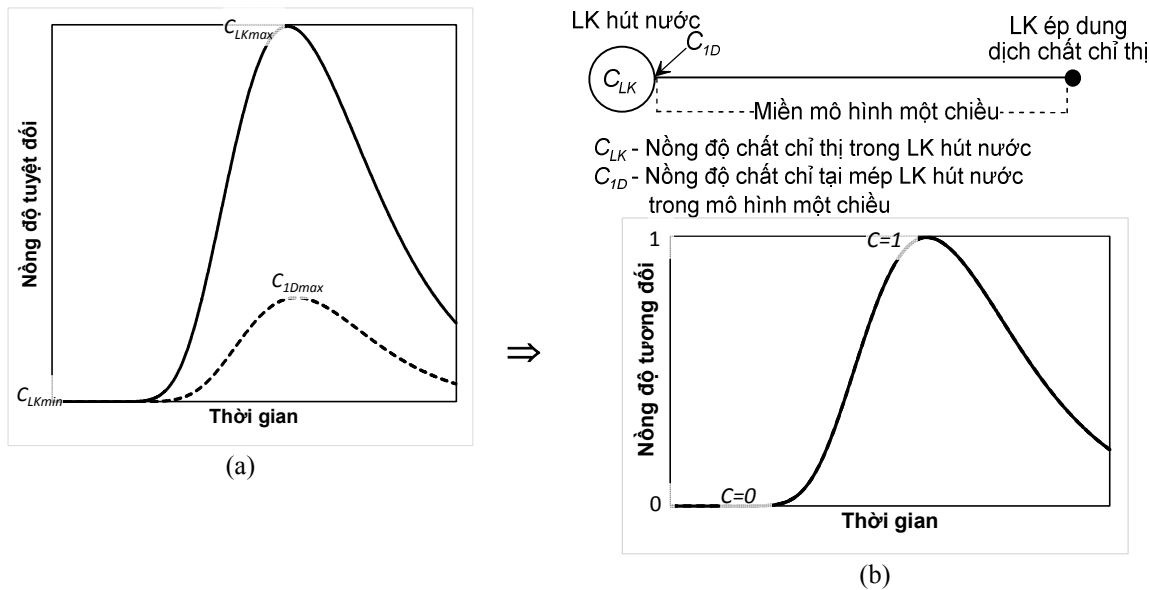
Hình 7. Hai đới cơ chế lan truyền chính trong thí nghiệm hút-ép [11].



Hình 8. Hai đới cơ chế lan truyền chính trong thí nghiệm hút-ép [11].

$W \leq 4r_l$ nếu hệ số thấm phân ống lọc của LK nhỏ hơn hệ số thấm của tầng chứa nước. Điều này là phù hợp với phương pháp khoan xây dựng kết cấu các LK quan trắc ở nước ta. Như vậy trong thí nghiệm tại Mộ Lao chiều rộng lớn nhất của đới lan truyền $W = 4 \times r_l = 4 \times 0,045\text{m} = 0,18\text{m}$, nhỏ hơn rất nhiều khoảng cách giữa LK hút nước và ép dung dịch muối. Vì vậy có thể sử dụng mô hình một chiều có chiều dài miền mô hình bằng khoảng cách giữa hai mép LK hút nước và ép dung dịch chất chỉ thị để tiến hành xác định các thông số lan truyền.

Thí nghiệm cho chúng ta nồng độ chất chỉ thị trong NĐĐ trong LK hút nước, trong khi đó mô hình một chiều theo tuyến đi qua LK hút nước và ép nước lại chỉ cho kết quả nồng độ chất chỉ thị tại rìa LK hút nước. Vì vậy có thể sử dụng nồng độ tương đối có dạng thể hiện trên hình 9(b) đối với nồng độ chất chỉ thị quan trắc được trong LK hút nước và nồng độ chất chỉ thị xác định theo mô hình một chiều. Như vậy hai đường cong phân bố nồng độ chất chỉ thị tương đối này của nước trong LK hút nước và của nước tại mép LK hút nước của mô hình một chiều về mặt lý thuyết là trùng nhau. Nếu ký hiệu nồng độ chất chỉ thị của nước trong LK hút nước là C_{LK} với giá trị cực đại là C_{LKmax} và cực tiểu C_{LKmin} (hình 9(a)) và nồng độ xác định theo mô hình một chiều tại mép LK hút nước là



Hình 9. Nồng độ tuyệt đối và tương đối của chất chỉ thị trong NĐĐ trong LK hút nước, mép LK hút nước.

C_{1D} với giá trị cực đại là C_{1Dmax} và cực tiểu C_{1Dmin} ta có nồng độ tương đối nước LK hút nước và mép LK hút nước của mô hình một chiều như sau:

$$C = \frac{C_{LK} - C_{LKmin}}{C_{LKmax} - C_{LKmin}}; \quad C = \frac{C_{1D} - C_{1Dmin}}{C_{1Dmax} - C_{1Dmin}} \quad (12)$$

3.6. Kết quả xác định thông số

Do tầng chứa nước qp có thành phần thạch học là cát cuội sỏi và chất lỏng thấm là dung dịch muối ăn nên khả năng hấp phụ muối ăn là vô cùng nhỏ, không đáng kể nên hệ số chậm chễ R trong phương trình (1) được lấy bằng 1.

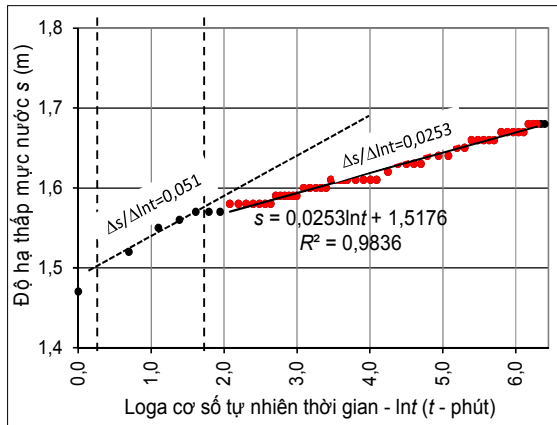
Từ đồ thị hình 9 xác định được thời gian nước chuyển động từ LK ép chất chỉ thị tới LK hút nước. Độ lỗ rỗng hữu hiệu có thể được xác định theo công thức sau (Nguyễn Văn Hoàng, 2016) [8]:

$$t = \frac{mn_{hh}}{0,3179Q} r^2 \Big|_{r_{ik}}^r \Rightarrow n_{hh} = \frac{0,3179Qt}{mr^2} \Big|_{r_{ik}}^r \quad (13)$$

Thay các số liệu vào ta có $n_{hh}=0,526$ là rất lớn so với thực tế rằng độ lỗ rỗng tổng cộng của cát cuội sỏi có độ đồng đều cao dao động trong

khoảng 0,30-0,50 (Fetter, 2001)[4].

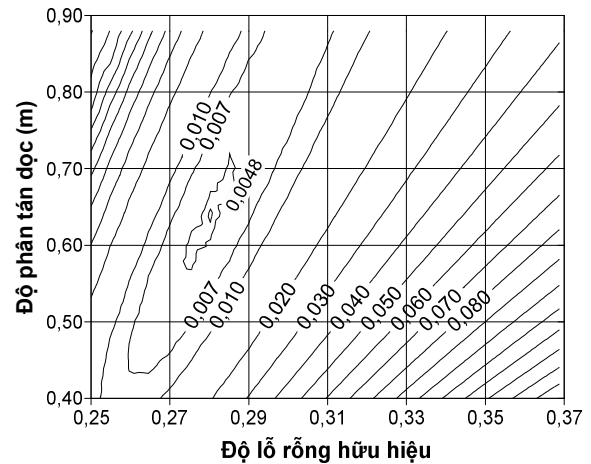
Theo kết quả phân tích tính toán thông số thủy văn tầng chứa nước qp của cụm thí nghiệm thì trong khoảng thời gian từ 10 phút đến 660 phút (11h) hệ số dẫn nước tính được là $1699m^2/ngày$ (ứng với hệ số thấm là $92,14m/ngày$), nhưng trong thời gian 10 phút đầu chỉ bằng $823m^2/ngày$ (ứng với hệ số thấm là $45,7m/ngày$) (Nguyễn Văn Chuyên, 2016) [13]. Giá trị hệ số thấm bằng $92,14m/ngày$ là quá lớn so với các số liệu về hệ số thấm của tầng chứa nước qp trong khu vực, giá trị hệ số thấm $45,7m/ngày$ phù hợp hơn. Như vậy tầng Neogen bên dưới tầng chứa nước qp là tầng chứa nước và trong quá trình hút nước từ tầng qp có sự cung cấp từ tầng Neogen. Như vậy về mặt thủy lực tầng chứa nước qp và tầng chứa nước Neogen tạo nên một "tầng chứa nước" có hệ số dẫn nước bằng $1699m^2/ngày$ với chiều dày lớn hơn nhiều chiều dày tầng qp bằng 18m. Rất đáng tiếc là chiều dày tầng chứa nước Neogen tại đây không được xác định. Vì vậy độ lỗ rỗng hữu hiệu sẽ nhỏ hơn nhiều và sẽ được làm chính xác hoá trong quá trình xác định độ phân tán dọc dưới đây:



Hình 10. Đồ thị hạ thấp mực nước theo thời gian.

Hai thông số là độ lỗ rỗng hữu hiệu và độ phân tán dọc được xác định bằng phương pháp thử loại sao cho tổng hiệu bình phương giữa nồng độ tương đối quan trắc được và nồng độ tương đối xác định theo mô hình nhỏ nhất. Phần mềm xác định được hỗ trợ từ đề tài nghiên cứu cơ bản định hướng ứng dụng do Quỹ NAFOSTED

- Bộ Khoa học và Công nghệ tài trợ (Nguyễn Văn Hoàng, 2014-2017) [10].



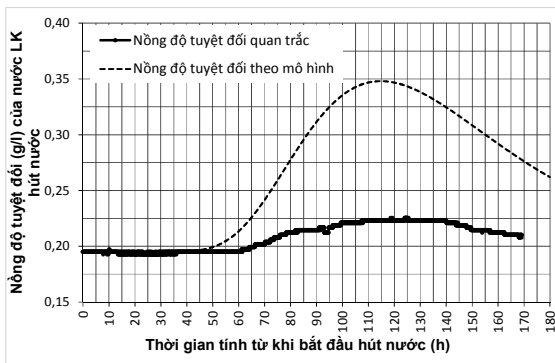
Hình 11. Tổng hiệu bình phương trung bình theo các giá trị độ lỗ rỗng hữu hiệu và độ phân tán.

Bảng 1. Tổng hiệu bình phương trung bình (THBP) theo các giá trị độ lỗ rỗng hữu hiệu và độ phân tán

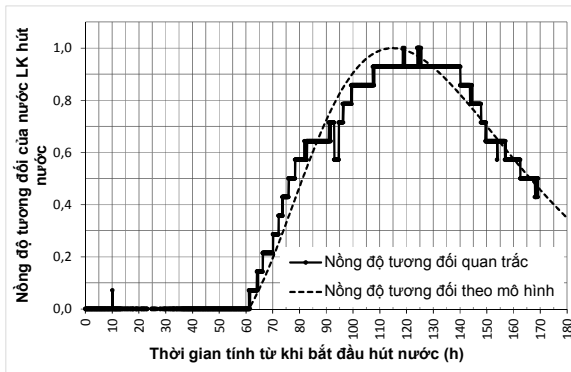
n_{hh}	a_l (m)	THBP	n_{hh}	a_l (m)	THBP	n_{hh}	a_l (m)	THBP
0,265	0,40	0,0088	0,275	0,74	0,0099	0,290	0,58	0,0093
0,265	0,42	0,0075	0,275	0,76	0,0113	0,290	0,60	0,0082
0,265	0,44	0,0067	0,275	0,78	0,0130	0,290	0,62	0,0073
0,265	0,46	0,0061	0,275	0,80	0,0149	0,290	0,64	0,0066
0,265	0,48	0,0057	0,275	0,82	0,0171	0,290	0,66	0,0060
0,265	0,50	0,0057	0,275	0,84	0,0196	0,290	0,68	0,0055
0,265	0,52	0,0058	0,275	0,86	0,0223	0,290	0,70	0,0052
0,265	0,54	0,0062	0,275	0,88	0,0254	0,290	0,72	0,0051
0,265	0,56	0,0067	0,280	0,40	0,0191	0,290	0,74	0,0050
0,265	0,58	0,0075	0,280	0,42	0,0164	0,290	0,76	0,0051
0,265	0,60	0,0085	0,280	0,44	0,0140	0,290	0,78	0,0053
0,265	0,62	0,0097	0,280	0,46	0,0120	0,290	0,80	0,0057
0,265	0,64	0,0111	0,280	0,48	0,0102	0,290	0,82	0,0062
0,265	0,66	0,0128	0,280	0,50	0,0088	0,290	0,84	0,0069
0,265	0,68	0,0146	0,280	0,52	0,0076	0,290	0,86	0,0077
0,265	0,70	0,0168	0,280	0,54	0,0067	0,290	0,88	0,0087
0,265	0,72	0,0192	0,280	0,56	0,0059	0,295	0,40	0,0375
0,265	0,74	0,0219	0,280	0,58	0,0054	0,295	0,42	0,0332
0,265	0,76	0,0249	0,280	0,60	0,0050	0,295	0,44	0,0294

n_{hh}	a_l (m)	THBP	n_{hh}	a_l (m)	THBP	n_{hh}	a_l (m)	THBP
0,265	0,78	0,0283	0,280	0,62	0,0048	0,295	0,46	0,0260
0,265	0,80	0,0320	0,280	0,64	0,0047	0,295	0,48	0,0229
0,265	0,82	0,0362	0,280	0,66	0,0049	0,295	0,50	0,0203
0,265	0,84	0,0408	0,280	0,68	0,0051	0,295	0,52	0,0179
0,265	0,86	0,0459	0,280	0,70	0,0055	0,295	0,54	0,0158
0,265	0,88	0,0516	0,280	0,72	0,0061	0,295	0,56	0,0140
0,270	0,40	0,0111	0,280	0,74	0,0069	0,295	0,58	0,0124
0,270	0,42	0,0093	0,280	0,76	0,0078	0,295	0,60	0,0110
0,270	0,44	0,0079	0,280	0,78	0,0089	0,295	0,62	0,0097
0,270	0,46	0,0069	0,280	0,80	0,0102	0,295	0,64	0,0087
0,270	0,48	0,0061	0,280	0,82	0,0117	0,295	0,66	0,0078
0,270	0,50	0,0055	0,280	0,84	0,0134	0,295	0,68	0,0070
0,270	0,52	0,0052	0,280	0,86	0,0153	0,295	0,70	0,0064
0,270	0,54	0,0051	0,280	0,88	0,0175	0,295	0,72	0,0059
0,270	0,56	0,0051	0,285	0,40	0,0246	0,295	0,74	0,0056
0,270	0,58	0,0054	0,285	0,42	0,0213	0,295	0,76	0,0054
0,270	0,60	0,0059	0,285	0,44	0,0184	0,295	0,78	0,0053
0,270	0,62	0,0066	0,285	0,46	0,0159	0,295	0,80	0,0053
0,270	0,64	0,0074	0,285	0,48	0,0138	0,295	0,82	0,0054
0,270	0,66	0,0084	0,285	0,50	0,0119	0,295	0,84	0,0057
0,270	0,68	0,0097	0,285	0,52	0,0103	0,295	0,86	0,0061
0,270	0,70	0,0111	0,285	0,54	0,0090	0,295	0,88	0,0066
0,270	0,72	0,0128	0,285	0,56	0,0079	0,300	0,40	0,0448
0,270	0,74	0,0147	0,285	0,58	0,0069	0,300	0,42	0,0400
0,270	0,76	0,0168	0,285	0,60	0,0062	0,300	0,44	0,0357
0,270	0,78	0,0193	0,285	0,62	0,0056	0,300	0,46	0,0318
0,270	0,80	0,0220	0,285	0,64	0,0052	0,300	0,48	0,0284
0,270	0,82	0,0250	0,285	0,66	0,0049	0,300	0,50	0,0253
0,270	0,84	0,0284	0,285	0,68	0,0048	0,300	0,52	0,0226
0,270	0,86	0,0322	0,285	0,70	0,0049	0,300	0,54	0,0201
0,270	0,88	0,0364	0,285	0,72	0,0050	0,300	0,56	0,0179
0,275	0,40	0,0146	0,285	0,74	0,0054	0,300	0,58	0,0160
0,275	0,42	0,0123	0,285	0,76	0,0058	0,300	0,60	0,0143
0,275	0,44	0,0104	0,285	0,78	0,0065	0,300	0,62	0,0127
0,275	0,46	0,0089	0,285	0,80	0,0072	0,300	0,64	0,0114
0,275	0,48	0,0076	0,285	0,82	0,0082	0,300	0,66	0,0102
0,275	0,50	0,0066	0,285	0,84	0,0093	0,300	0,68	0,0092
0,275	0,52	0,0059	0,285	0,86	0,0106	0,300	0,70	0,0083
0,275	0,54	0,0053	0,285	0,88	0,0121	0,300	0,72	0,0076
0,275	0,56	0,0050	0,290	0,40	0,0307	0,300	0,74	0,0069

n_{hh}	a_l (m)	THBP	n_{hh}	a_l (m)	THBP	n_{hh}	a_l (m)	THBP
0,275	0,58	0,0048	0,290	0,42	0,0269	0,300	0,76	0,0064
0,275	0,60	0,0048	0,290	0,44	0,0236	0,300	0,78	0,0060
0,275	0,62	0,0050	0,290	0,46	0,0206	0,300	0,80	0,0057
0,275	0,64	0,0054	0,290	0,48	0,0180	0,300	0,82	0,0056
0,275	0,66	0,0059	0,290	0,50	0,0158	0,300	0,84	0,0055
0,275	0,68	0,0066	0,290	0,52	0,0138	0,300	0,86	0,0056
0,275	0,70	0,0075	0,290	0,54	0,0121	0,300	0,88	0,0058
0,275	0,72	0,0086	0,290	0,56	0,0106			



Hình 12. Nồng độ tuyệt đối quan trắc trong LK hút nước và tại mép LK theo mô hình có độ tổng bình phương nhỏ nhất.



Hình 13. Nồng độ tương đối quan trắc trong LK hút nước và tại mép LK theo mô hình có độ tổng bình phương nhỏ nhất.

Như vậy giá trị độ lỗ rỗng hữu hiệu bằng $n_{hh}=0,280$ và độ phân tán dọc bằng $a_L=0,64m$ được xác định cho tổng hiệu bình phương trung bình có giá trị nhỏ nhất bằng 0,0047 (bằng tổng hiệu bình phương chia cho tổng số cặp là 520). Giá trị hệ số phân tán thủy động học xác định

theo công thức (3) là $D=D'+D_d^*$ với hệ số phân tán cơ học là $D'=a_L U$ và hệ số khuếch tán phân tử trong tầng chứa nước $D_d^*=0,0004m^2/ngày$.

Với vận tốc thực của dòng chảy NĐĐ sát LK hút nước là $\approx 34m/ngày$ có hệ số phân tán thủy động lực là $D\approx 22m^2/ngày$ và tại mép LK ép dung dịch chất chỉ thị là $\approx 4m/ngày$ có hệ số phân tán thủy động lực là $D\approx 3m^2/ngày$, và vai trò phân tán phân tử trong môi trường rỗng trong thí nghiệm hút và ép dung dịch muối hầu như không có.

4. Kết luận và kiến nghị

Qua các phân tích số liệu thí nghiệm và phân tích tính toán thông số lan truyền các chất ô nhiễm của tầng chứa nước qp khu vực thí nghiệm có chú ý đến khả năng thấm xuyên vào tầng chứa nước được thí nghiệm, có thể rút ra một số kết luận sau:

- Với việc quan trắc nồng độ chất chỉ thị trong LK hút nước, chỉ có thể tiến hành so sánh nồng độ tương đối chất chỉ thị trong LK hút nước và nồng độ tương đối theo mô hình tại rìa LK hút nước;

- Chỉ có thể áp dụng mô hình số mới xác định được nồng độ tại rìa LK hút nước và mới có thể xác định được độ lỗ rỗng hữu hiệu và độ phân tán dọc của tầng chứa nước;

- Phương pháp mô hình số lan truyền chất hòa tan trong NĐĐ và xác định thông số theo phương pháp tổng hiệu bình phương là rất hiệu quả trong các bài toán này;

- Độ lỗ rỗng hữu hiệu tầng chứa nước qp là 0,280 và độ phân tán là 0,64m, tương ứng là hệ số phân tán thủy động lực thay đổi rất lớn từ $D \approx 22 \text{m}^2/\text{ngày}$ sát LK hút nước xuống $D \approx 3 \text{m}^2/\text{ngày}$ tại mép LK ép dung dịch chất chỉ thị.

Ngoài các kết luận, từ các phân tích đánh giá tập thể tác giả đề xuất các những điều cần quan tâm trong thí nghiệm ép dung dịch chất chỉ thị sau đây:

- Tiến hành ép dung dịch chất chỉ thị trong suốt quá trình thí nghiệm nhằm có được giá trị biên trong suốt quá trình, mà không phải nội suy có thể có sai số nhất định;

- Đọc theo tuyến giữa LK hút nước và LK ép dung dịch chất chỉ thị nên bố trí các LK quan trắc nồng độ chất chỉ thị;

- Cần xác định chính xác chiều dày tầng chứa nước trên diện lớn hơn nhiều diện tích thí nghiệm vì chiều dày hữu hiệu quyết định kết quả tính toán độ lỗ rỗng hữu hiệu, đồng thời phải phân tích đánh giá thẩm xuyên nếu tầng chứa nước thí nghiệm không được khẳng định là tầng chứa nước không có thẩm xuyên;

- Tuyệt đối đảm bảo lưu lượng hút nước không thay đổi trong suốt thời gian thí nghiệm và phải được đo xác định lưu lượng thường xuyên vì giá trị lưu lượng quyết định giá trị độ lỗ rỗng hữu hiệu trong công thức tính toán.

Lời cảm ơn

Bài báo được hoàn thành trong khuôn khổ thực hiện Đề tài cấp nhà nước: "Nghiên cứu xây dựng phần mềm mô hình phân tử hữu hạn mô phỏng chuyển động và lan truyền các chất ô nhiễm và nhiễm mặn trong môi trường nước dưới đất-ứng dụng cho khu vực ven biển miền Trung" mã số ĐT.NCCB-ĐHƯD.2012-G/04 được Quỹ nghiên cứu Cơ bản NAFOSTED-Bộ Khoa học công nghệ tài trợ và Dự án "Bảo vệ nước dưới đất ở các đô thị lớn (Phạm vi: Đô thị Hà Nội)".

Tài liệu tham khảo

[1] Bộ Kế hoạch và Đầu tư Việt Nam-Bộ Ngoại Giao Đan Mạch, 2011. Cơ chế phối hợp trong

đầu tư cho lĩnh vực môi trường nhằm đạt hiệu quả liên vùng và liên ngành Đáy. Báo cáo Hợp tác phát triển trong lĩnh vực môi trường (DCE) 2005 - 2010.

- [2] Lê Văn Hiến, Bùi Học, Đặng Hữu Ôn và nnk, 2000. Nước dưới đất Đồng bằng Bắc Bộ. Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam.
- [3] Triệu Đức Huy (chủ nhiệm Dự án), 2015. Dự án "Bảo vệ nước dưới đất ở các đô thị lớn (Phạm vi: Đô thị Hà Nội)". Liên đoàn tâm Điều tra và Quy hoạch Tài nguyên Nước Miền Bắc - Trung tâm Điều tra và Quy hoạch Tài nguyên Nước - Bộ Tài nguyên và Môi trường.
- [4] Fetter C.W., 2001. Applied Hydrogeology. Prentice Hall Inc. New Jersey 07458.
- [5] Bear J. and Verruijt A., 1987. Modeling groundwater flow and pollution, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holand. 414pp.
- [6] Ghislain de Marsily, 1987. Quantitative hydrogeology - groundwater hydrology for engineers. Academic Press. 440pp.
- [7] Bear J., 1972. Dynamics of Fluids in Porous Media. Courier Corporation. 764pp.
- [8] Nguyễn Văn Hoàng, 2016. Giáo trình "Mô hình lan truyền chất ô nhiễm trong môi trường nước". Nhà xuất bản Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. 202 trang.
- [9] Huyakorn, P.S., and G. F. Pinder: 1983, Computational Methods in Subsurface Flow. Academic Press, New York, 473 pp.
- [10] Nguyễn Văn Hoàng (chủ nhiệm đề tài) (2014-2016). "Nghiên cứu xây dựng phần mềm mô hình phân tử hữu hạn mô phỏng chuyển động và lan truyền các chất ô nhiễm và nhiễm mặn trong môi trường nước dưới đất-ứng dụng cho khu vực ven biển miền Trung" mã số ĐT.NCCB-ĐHƯD.2012-G/04.
- [11] Vitaly A. Zlotnik and John David Logan, 1996. Boundary Conditions for Convergent Radial Tracer Tests and Effect of Well Bore Mixing Volume. Papers in the Earth and Atmospheric Sciences. Paper 159.
- [12] Drost, W., D. Klotz, A. Koch, H. Moser, F. Neumaier, and W. Rauert, 1968. Point dilution methods of investigating ground water flow by means of radioisotopes. Water Resour. Res., 4(1) 125-146.
- [13] Nguyễn Văn Chuyên, 2016. Báo cáo chuyên: phân tích tính toán các thông số địa chất thủy văn theo số liệu thí nghiệm hút nước thí nghiệm chùm tại Mỗ Lao-Hà Đông-Hà Nội. Dự án "Bảo vệ nước dưới đất ở các đô thị lớn (Phạm vi: Đô thị Hà Nội)". Trung tâm Điều tra và Quy hoạch Tài nguyên Nước - Bộ Tài nguyên và Môi trường.

Study on Determination of Effective Porosity and Dispersivity of Pleistocene Aquifer in Mo Lao, Ha Dong District, Hanoi, Vietnam

Nguyen The Chuyen¹, Vu Ngoc Duc¹, Dao Trong Tu¹, Nguyen Van Hoang²

¹Center for Water Resources Database and Information-National Center for Water Resources, Planning and Investigation, 93/95 Vu Xuan Thieu, Sai Dong, Long Bien, Hanoi, Vietnam

²Institute of Geological Sciences-Vietnam Academy of Science and Technology, 84 Chua Lang, Lang Thuong, Dong Da, Hanoi, Vietnam

Abstract: Field pumping and tracer injection testing had been carried out for determination of groundwater solute transport parameter in Mo Lao, Ha Dong district, Hanoi city, where hydrogeological windows exist between Pleistocene and Holocene aquifers. The testing was done under pumping rate of 5l/sec and injection rate of 0,5l/sec with the injected water having salt concentration of 5g/l. The pumping time was 170 hours, tracer injection started 8 hours after the pumping beginning and the injection time was 12 hours. The determination of the transport parameters by the filed pumping and injection testing is complicated and rather difficult since the testing conditions do not allow to have analytical solution. The testing data have shown that although the injection was hold for 12 hours, the salt concentration of the pumped water still have parabolic shape which is characteristic for a snap-shot injection. The parameter determination had been carried out by the method of least squares between the observed and modelled salt concentration determined by the finite element method. The aquifer has effective porosity of 0.28 and longitudinal dispersivity of 0.64m (which is corresponding to hydrodynamic dispersion from $D \approx 22\text{m}^2/\text{day}$ outside the pumping well screen to $D \approx 3\text{m}^2/\text{day}$ outside the injection well screen) with the minimal average sum of squares of 0.0047, i.e. the absolute difference between the observed and modelled concentration is 0.068g/l for the relative concentration range 0÷1g/l. The modelling results have also shown that the one-dimensional model concentration at the outside of the pumping well screen is four time greater than the salt concentration of the pumped out water.

Keywords: Groundwater, pumping test, tracer injection test, solute transport, effective porosity, dispersivity, method of least squares.