

NGHIÊN CỨU BỔ CẬP NHÂN TẠO NƯỚC DƯỚI ĐẤT BẰNG PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG GIẾNG BƠM ÉP

Lê Phước Hảo, Nguyễn Quốc Phong, Đỗ Quang Khánh

Khoa Địa chất và Dầu khí, Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 04 tháng 08 năm 2003)

TÓM TẮT: *Bổ cập nhân tạo là một giải pháp hữu hiệu nhằm nâng cao khả năng khai thác của tầng chứa và bảo vệ nguồn tài nguyên nước dưới đất. Phương pháp này đã được áp dụng thành công ở nhiều quốc gia như Đan Mạch, Hà Lan, Thụy Điển, Pháp, Đức, Mỹ, Canada... Bài báo trình bày những kết quả sơ bộ nghiên cứu mô phỏng bài toán bổ cập nhân tạo nước dưới đất thông qua các giếng bơm ép, so sánh kết quả với phần mềm thương mại Visual Modflow và cho thấy triển vọng mở rộng nghiên cứu cho những tầng chứa nước phức tạp hơn.*

I. GIỚI THIỆU

Nước là nguồn tài nguyên thiên nhiên quý giá nhất của con người vì không có nước sẽ không có sự sống. Tuy nhiên, lượng nước sử dụng được cho đời sống của con người thì có giới hạn và chỉ chiếm một tỉ lệ rất nhỏ khoảng 2,8% (trong đó nước dưới đất chiếm 0,6% và nước trong băng tuyết chiếm 2,15%) trong tổng số lượng nước có trên Trái Đất.

Hiện nay, nguồn tài nguyên nước đang bị khai thác một cách bừa bãi và sử dụng một cách rất lãng phí, đồng thời chưa có các biện pháp bảo vệ tài nguyên hợp lí nên đã gây ra những hậu quả hết sức nghiêm trọng khó hoặc không thể khắc phục được trong tương lai như: làm ô nhiễm nguồn nước mặt, nguồn nước ngầm đang bị khai thác vượt quá giới hạn an toàn cho phép của tầng chứa.

Cùng với sự phát triển kinh tế-xã hội và sự bùng nổ của dân số thế giới, nhu cầu về nước ngày càng tăng cao, theo số liệu thống kê hiện có hơn hai tỉ người đang thiếu nước sạch. Chính vì vậy, việc nghiên cứu các giải pháp kĩ thuật nhằm khai thác và bảo vệ nguồn tài nguyên nước là một trong những vấn đề mang tính bức thiết ở nhiều quốc gia.

Bổ cập nhân tạo là một giải pháp hữu hiệu nhằm dự trữ nước cung cấp cho mùa khô, khôi phục lại tầng chứa, nâng cao khả năng khai thác của tầng chứa và bảo vệ nguồn tài nguyên nước dưới đất tránh khỏi việc khai thác một cách quá mức. Phương pháp này đã được áp dụng thành công ở nhiều quốc gia như Đan Mạch, Hà Lan, Thụy Điển, Pháp, Đức, Mỹ, Canada... Phương pháp bổ cập gián tiếp (thông qua hệ thống sông hồ), bồn thấm hay giếng bơm ép thường được sử dụng hơn cả.

II. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1- Dòng chảy trong môi trường rỗng

Phương trình chuyển động của lưu chất đơn pha trong tầng chứa nước dưới đất được biểu diễn như sau:

$$\nabla \cdot \mathbf{K} \cdot \nabla h - S_s \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

trong đó:

- h - Cột áp của tầng chứa nước
 S - Hệ số tầng chứa
 x, y - Tọa độ
 K - Độ dẫn thủy lực
 t - Thời gian

Phương trình (1) là phương trình vi phân theo không gian và thời gian nên nó được giải với các điều kiện biên và điều kiện ban đầu như sau:

Điều kiện biên của bài toán:

- Trên biên S_1 : $h=f$
- Trên biên S_2 : $T \frac{\partial h}{\partial n} = q.l$

Điều kiện ban đầu của bài toán tại thời điểm $t=0$: $h(x, y, z, t = 0) = h_0$

Lời giải giải tích của phương trình vi phân (1) chỉ nhận được khi các điều kiện ban đầu và điều kiện biên hết sức đơn giản. Đối với các trường hợp khác, nó thường được giải bằng các phương pháp số với sự hỗ trợ của máy tính.

2.2- Mô phỏng bài toán nước dưới đất bằng phương pháp phần tử hữu hạn

a- Dòng chảy hai chiều, tầng chứa có áp

Thông thường, do dòng chảy theo phương thẳng đứng không quan trọng nên lấy tích phân theo phương này thu được:

$$\nabla.T.\nabla h - q - S \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \tag{2}$$

trong đó: $T(x, y) = K(x, y).b(x, y)$ $S(x, y) = S_s(x, y).b(x, y)$

b - Chiều dày tầng chứa; q - Lưu lượng theo phương thẳng đứng

Áp dụng phương pháp phần tử hữu hạn, rời rạc miền khảo sát bài toán thành m miền con liên kết với nhau tại các điểm nút. Phương trình tính toán áp suất tại các điểm nút được viết như sau:

$$[A]\{h\} + [B]\left\{\frac{dh}{dt}\right\} = \{f\} \tag{3a}$$

trong đó: $A_{i,j}^e = \int_{R_e} \nabla N_i . T . \nabla N_j dR$: Ma trận độ cứng của phần tử

$B_{i,j}^e = \int_{R_e} S N_i N_j dR$: Ma trận khối lượng phần tử

$f_i^e = \int_{S_2^e} n . (T . \nabla h) N_i dS - \int_{R_e} N_i q dR$: Vectơ tải phần tử

$[A] = \sum_{e=1}^m [A^e]$: Ma trận độ cứng của hệ

$[B] = \sum_{e=1}^m [B^e]$: Ma trận khối lượng của hệ

$[f] = \sum_{e=1}^m [f^e]$: Vectơ tải của hệ

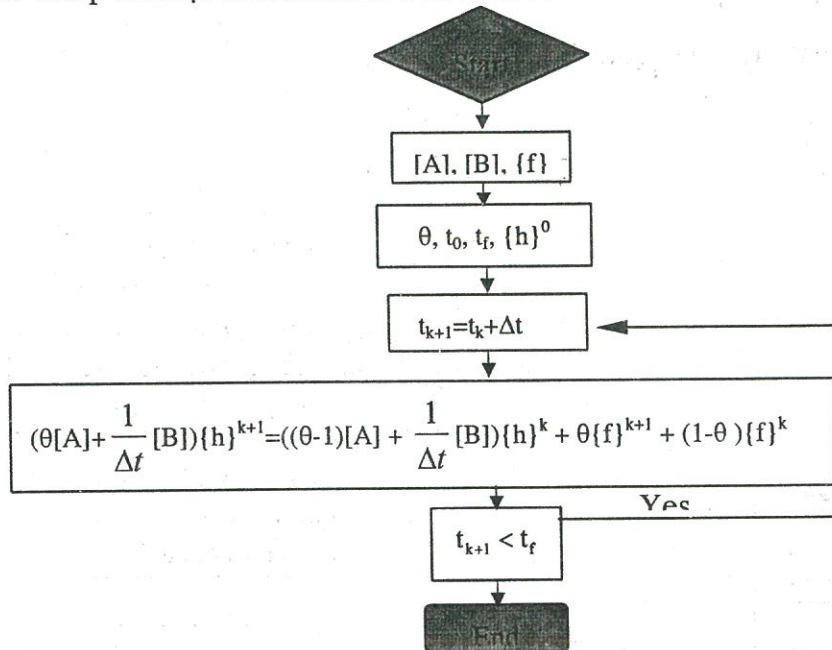
Trong trường hợp dòng chảy ổn định, phương trình tính toán áp suất tại các điểm nút trở thành:

$$[A].h = f \tag{3b}$$

Áp dụng phương pháp sai phân rời rạc biến thời gian thành n khoảng, giá trị áp suất tại các điểm nút theo thời gian được xác định theo phương trình sau:

$$\left(\theta[A] + \frac{1}{\Delta t}[B]\right)\{h\}^{k+1} = \left((\theta-1)[A] + \frac{1}{\Delta t}[B]\right)\{h\}^k + \theta\{f\}^{k+1} + (1-\theta)\{f\}^k \quad (4)$$

trong đó h^k là áp suất tại thời điểm $k.\Delta t$ và $0 \leq \theta \leq 1$.



Hình 1- Sơ đồ giải thuật cho trường hợp dòng chảy hai chiều, tầng chứa có áp

b- Dòng chảy hai chiều, tầng chứa không áp

Phương trình vi phân dòng chảy nằm ngang trong tầng chứa không áp, hai chiều được viết như sau:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T \frac{\partial h}{\partial y} \right) + I = (S_x b + S_y) \frac{\partial h}{\partial t} \quad (5)$$

trong đó b là chiều dày của tầng chứa bão hòa và các điều kiện biên của bài toán như sau:

Trên biên S_1 : $h=f$

Trên biên S_2 : $T \frac{\partial h}{\partial n} = q.l$

và điều kiện ban đầu của bài toán: $h = h_0$.

Áp dụng phương pháp phần tử hữu hạn để rời rạc các biến theo không gian và áp dụng phương pháp sai phân lùi rời rạc biến thời gian, từ phương trình (5) cột áp tại các nút lưới theo thời gian có thể được tính bằng cách giải hệ phương trình sau:

$$\left([A] + \frac{1}{\Delta t}[B] \right)\{h\}^{k+1} = \frac{1}{\Delta t}[B]\{h\}^k + \{f\}^{k+1} \quad (6)$$

trong đó: $[A] = \sum_{e=1}^m [A]^e$:

Ma trận độ cứng của hệ

$[B] = \sum_{e=1}^m [B]^e$:

Ma trận khối lượng của hệ

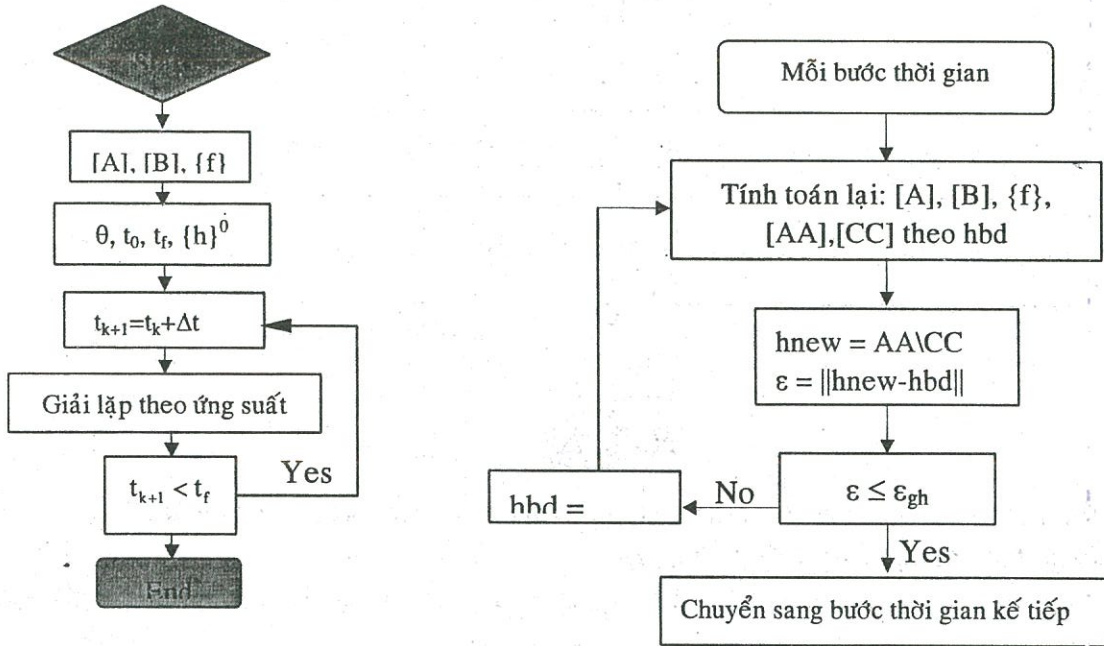
$[f] = \sum_{e=1}^m [f]^e$:

Vectơ tải của hệ

$$A_{i,j}^e = \int_{R_e} \nabla N_i \cdot K \cdot b \cdot \nabla N_j dR : \quad \text{Ma trận độ cứng của phần tử}$$

$$B_{i,j}^e = \int_{R_e} (S_x + S_y) N_i N_j dR : \quad \text{Ma trận khối lượng phần tử}$$

$$f_i^e = \int_{S_e} n \cdot (T \cdot \nabla h) N_i dS - \int_{R_e} N_i q dR : \quad \text{Vectơ tải phần tử}$$



Hình 2- Sơ đồ giải thuật cho trường hợp dòng chảy hai chiều, tầng chứa không áp

Tuy nhiên trong trường hợp này, b phụ thuộc vào h nên bài toán trở thành phi tuyến. Vì vậy, để giải bài toán ta phải dùng phép lặp (hình 2). Ứng với mỗi bước thời gian ta tiến hành giải như sau:

$$\left([A] + \frac{1}{\Delta t} [B] \right) \{h\}_{r+1}^k = \frac{1}{\Delta t} [B] \{h\}_r^k + \{f\}^k \quad (7)$$

III. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG

3.1- Bài toán áp dụng

Bài toán mô phỏng sự thay đổi áp suất ở chế độ ổn định trong một vỉa có áp hình chữ nhật với lưu lượng khai thác 500 m³/ngày. Ước lượng lưu lượng khai thác lớn nhất của giếng với giả thiết độ sụt áp suất tại các vị trí trong vỉa không lớn hơn 3m với các đặc điểm sau đây:

$$T = 100 \text{ m}^2/\text{ngày}, h_w = 100 \text{ m}, h_E = 98 \text{ m}, L_x = 2500 \text{ m}, L_y = 1500 \text{ m}$$

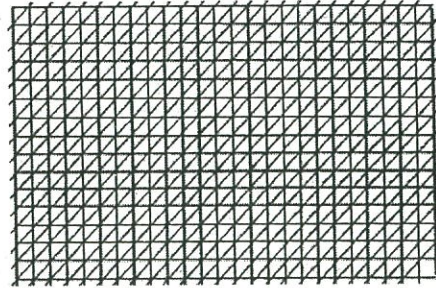
$$T \frac{\partial h(x=0)}{\partial x} = 0 \quad T \frac{\partial h(x=L_x)}{\partial x} = 0$$

Bài toán được khảo sát cho 3 trường hợp sau đây:

- Giếng khai thác nằm ở tâm vùng khảo sát
- Giếng khai thác nằm lệch tâm
- Giếng khai thác nằm tại tâm và có giếng bơm ép

3.2- Kết quả nghiên cứu

Via khảo sát được mô hình hóa bởi lưới phần tử tam giác gồm 15 hàng 25 cột (hình 3).

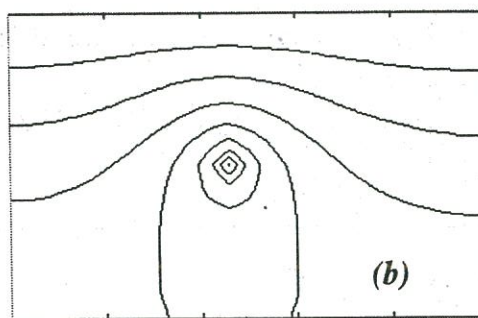
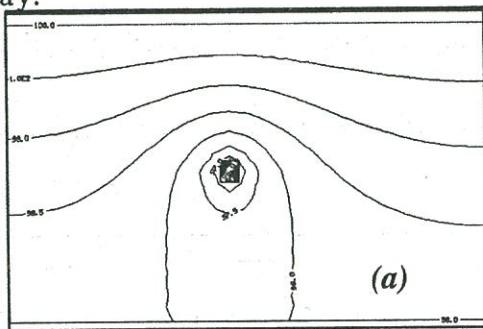


Hình-3: Sơ đồ lưới phần tử

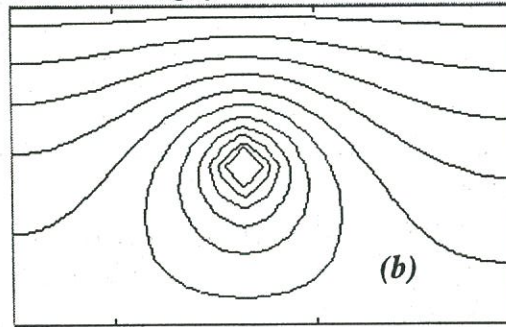
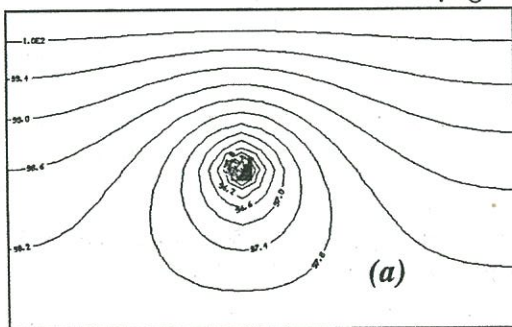
Kết quả giải bài toán tương ứng bằng phần mềm thương mại Visual Modflow (các hình a) và phần mềm mô phỏng sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn được viết bằng ngôn ngữ lập trình Matlab (các hình b) được so sánh.

a- Trường hợp 1: Giếng đặt tại vị trí tâm vùng khảo sát.

Mô phỏng lưu lượng khai thác 500 m³/ngày và ước lượng lưu lượng cao nhất là 830 m³/ngày.



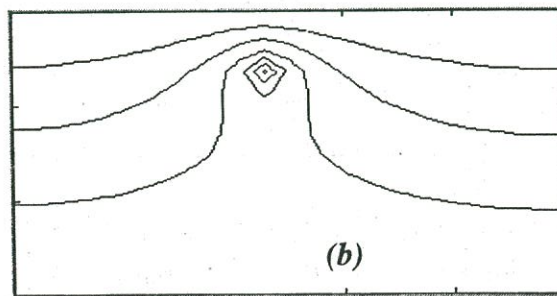
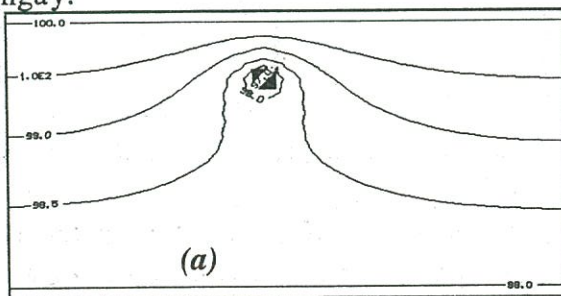
Hình 4- Đường đẳng áp của khu vực khảo sát trong trường hợp giếng nằm ở trung tâm với lưu lượng khai thác 500 m³/ngày.



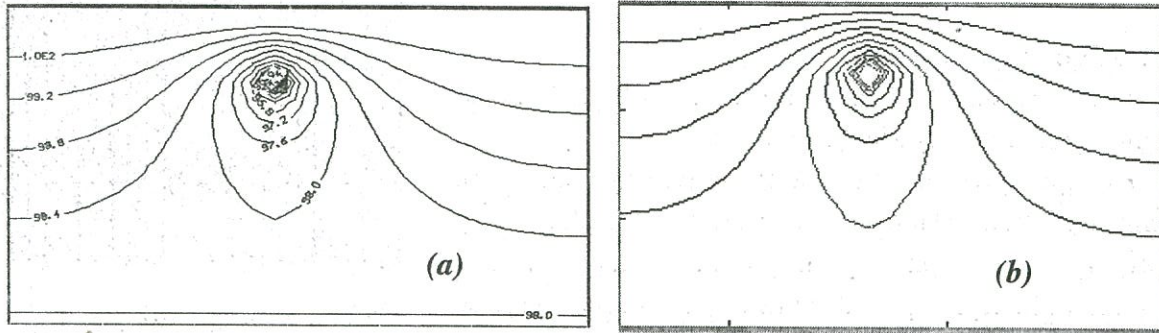
Hình 5- Đường đẳng áp của khu vực khảo sát trong trường hợp giếng nằm ở trung tâm với lưu lượng khai thác 830 m³/ngày.

b- Trường hợp 2: Giếng đặt lệch tâm của vùng khảo sát

Mô phỏng lưu lượng khai thác 500 m³/ngày và ước lượng lưu lượng cao nhất là 1000 m³/ngày.



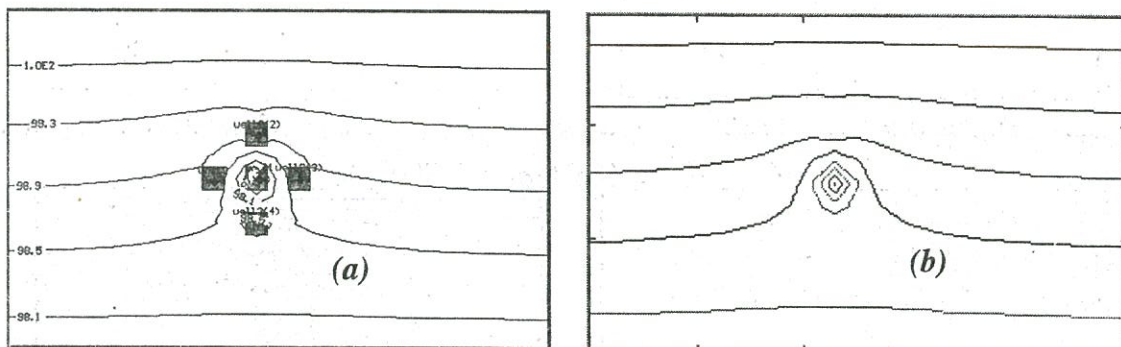
Hình 6- Đường đẳng áp của khu vực khảo sát trong trường hợp giếng nằm lệch tâm với lưu lượng khai thác 500 m³/ngày.



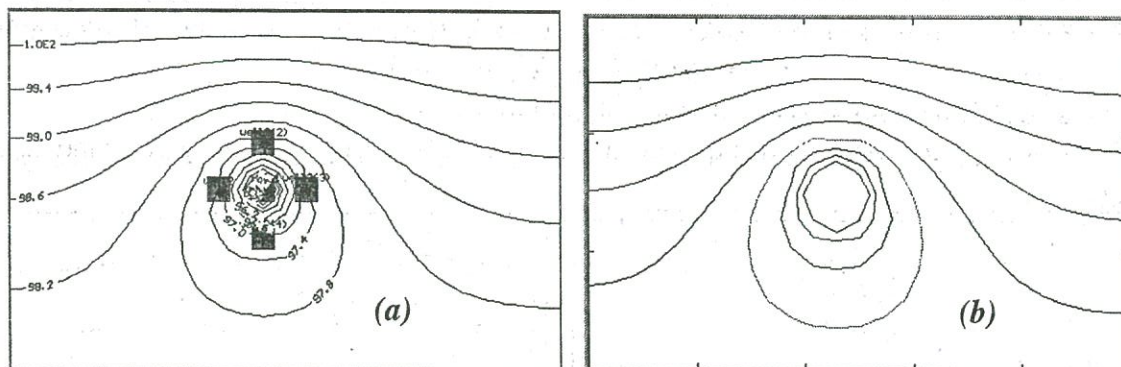
Hình 7- Đường đẳng áp của khu vực khảo sát trong trường hợp giếng nằm lệch tâm tương ứng với lưu lượng $1000 \text{ m}^3/\text{ngày}$.

c-Trường hợp 3: Giếng khai thác nằm ở tâm của vùng khảo sát có bổ cập bằng 4 giếng bơm ép $100 \text{ m}^3/\text{giếng}/\text{ngày}$.

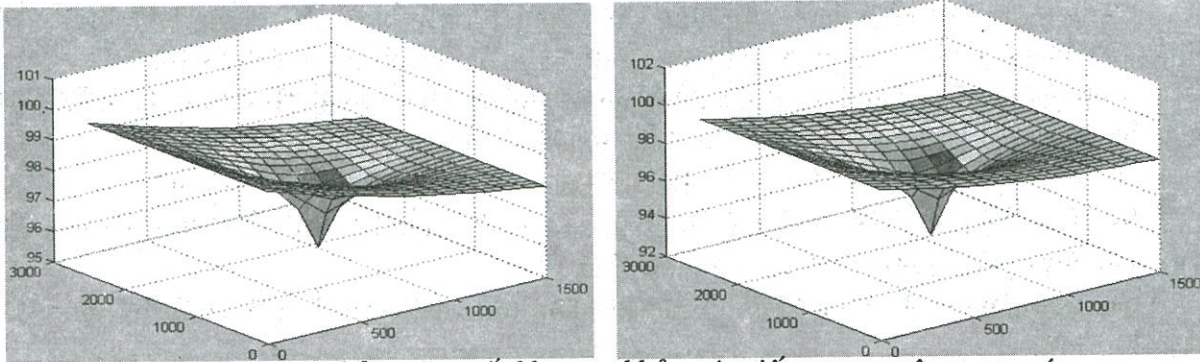
Mô phỏng lưu lượng khai thác $500 \text{ m}^3/\text{ngày}$ và ước lượng lưu lượng cao nhất là $1100 \text{ m}^3/\text{ngày}$.



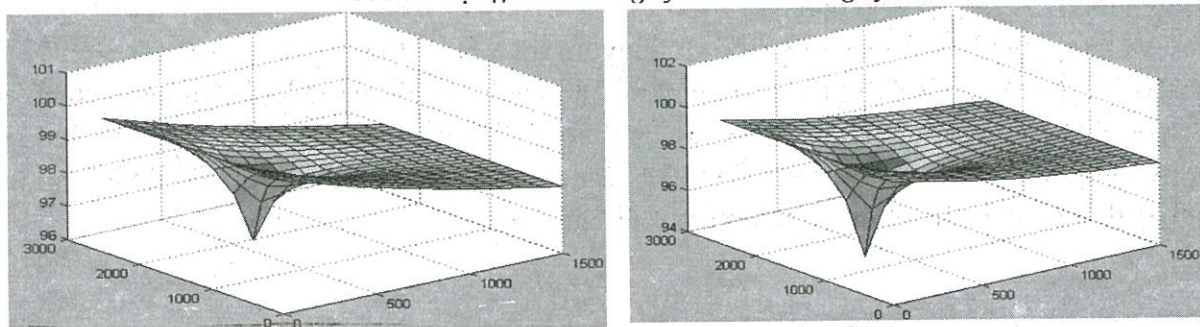
Hình 8- Đường đẳng áp của khu vực khảo sát trong trường hợp giếng nằm ở trung tâm, lưu lượng $500 \text{ m}^3/\text{ngày}$.



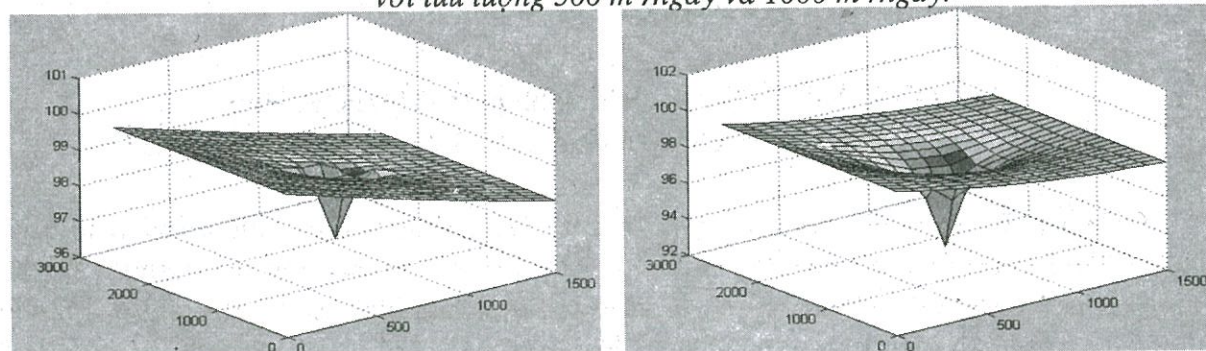
Hình 9: Đường đẳng áp của khu vực khảo sát trong trường hợp giếng nằm ở trung tâm tương ứng với lưu lượng $1100 \text{ m}^3/\text{ngày}$ có bổ cập bằng 4 giếng bơm ép $100 \text{ m}^3/\text{giếng}/\text{ngày}$



Hình 10- Mô phỏng áp suất khu vực khảo sát giếng trung tâm tương ứng với lưu lượng $500 \text{ m}^3/\text{ngày}$ và $830 \text{ m}^3/\text{ngày}$.



Hình 11- Mô phỏng áp suất khu vực khảo sát giếng lệch tâm tương ứng với lưu lượng $500 \text{ m}^3/\text{ngày}$ và $1000 \text{ m}^3/\text{ngày}$.



Hình 12: Mô phỏng áp suất khu vực khảo sát giếng trung tâm tương ứng với lưu lượng $500 \text{ m}^3/\text{ngày}$ và $1100 \text{ m}^3/\text{ngày}$ có bổ cập bằng 4 giếng bơm ép $100 \text{ m}^3/\text{giếng}/\text{ngày}$.

Từ những kết quả trình bày ở trên ta thấy:

- Vị trí giếng khai thác và bơm ép ảnh hưởng đến độ hạ thấp mực nước trong vỉa.

- Sai số tính toán giữa hai phần mềm trong tất cả các trường hợp nghiên cứu đều nhỏ hơn 0.03%.

IV. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Nước ngọt là nguồn tài nguyên thiên nhiên quý giá nhất. Vì vậy, việc qui hoạch sử dụng hợp lý nguồn tài nguyên này nhằm phát triển bền vững kinh tế-xã hội là một trong những vấn đề mang tính chiến lược của quốc gia. Bài báo chỉ trình bày kết quả mô phỏng sự thay đổi của áp suất trong quá trình khai thác và bổ cập nước dưới đất trong tầng chứa có độ dẫn thủy lực đẳng hướng, bài toán hai chiều. Kết quả nghiên cứu trong cùng một khu vực cho thấy:

- Nếu giếng khai thác được bố trí gần các vị trí cung cấp nước sẽ cho lưu lượng khai thác cao hơn với cùng độ hạ thấp mực nước tại giếng hoặc độ hạ thấp mực nước sẽ nhỏ hơn nếu cùng khai thác với một lưu lượng như nhau.

- Cùng một vị trí khai thác, nếu tầng chứa được bổ cập bằng các giếng bơm ép thì lưu lượng khai thác của giếng sẽ được gia tăng và độ hạ thấp mực nước sẽ giảm đáng kể.

- Tính tương đồng kết quả so với phần mềm thương mại Visual Modflow cho thấy triển vọng phát triển bài toán cho những tầng chứa đa tầng có cấu tạo phức tạp khác.

Hiện nay, tại TP. HCM, tình hình khai thác nước ngầm có các đặc điểm sau:

Lưu lượng khai thác đã vượt quá giới hạn an toàn cho phép ở một số tầng chứa làm cho độ hạ thấp mực nước ngầm không ngừng gia tăng.

Nguy cơ nhiễm bẩn tầng chứa do độ hạ thấp mực nước và do các chất thải gây nên ngày càng tăng.

Sự dịch chuyển của biên mặn ngọt ngày càng tiến sâu vào trong đất liền kèm theo nguy cơ ngập mặn các giếng khai thác.

Vì vậy, nhằm đảm bảo cho việc sử dụng an toàn nguồn tài nguyên này nên tiến hành nghiên cứu áp dụng thí điểm phương pháp bổ cập nhân tạo để gia tăng lượng nước ngầm có thể khai thác được cũng như làm giảm độ hạ thấp mực nước ngầm. Dựa trên các kết quả mô phỏng thu được, rút ra các kết luận ban đầu về quá trình bổ cập, tiến hành thẩm định lại mô hình khai thác - bổ cập và áp dụng thực tế trên diện rộng.

SIMULATION OF ARTIFICIAL GROUNDWATER RECHARGE BY INJECTION WELLS

Le Phuoc Hao, Nguyen Quoc Phong, Do Quang Khanh

Faculty of Geology & Petroleum, University of Technology – VNU-HCM

ABSTRACT: *Artificial recharge is an effective solution to enhance exploitation ability of aquifers and safeguard groundwater resources. This method was applied successfully in many countries as Denmark, German, Sweden, France, Canada, America... This paper presents preliminary research results of groundwater artificial recharge by injection wells, compares the results with the commercial Visual Modflow software and shows the prospect to extend the research program for more complex aquifers.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Hayretin Kardestuncer (Editor in chef), *Finite Element Handbook* – Douglass Norrie Project Editor
- [2] Mary P. Anderson and William W. Woessner, *Applied Groundwater Modeling: Simulation of Flow and Advective Transport*.
- [3] HCMC Environmental Management Project: Report on Establishment of a Groundwater Monitoring Network.
- [4] T.Karvonen, *Subsurface and Groundwater Hydrology: Basic Theory and Application of Computational Methods*, Helsinki University of Technology Laboratory of Water Resources, 2002.
- [5] Vũ Minh Cát và Bùi Công Quang, *Thủy văn nước dưới đất*- Đại học thủy lợi, NXB Xây dựng 2002.