GIỚI THIỆU TOPMODEL

Ngô Lê An - Đại học Thuỷ lợi

Mô hình TOP (Topography Model) do giáo sư Mike Kirkby thuộc trường Đại học Địa lý Leeds phát triển vào năm 1974 dưới sự bảo trợ của Hội đồng nghiên cứu môi trường thiên nhiên Vương quốc Anh. Năm 1975, Keith Beven bắt đầu xây dựng chương trình TOPMODEL bằng ngôn ngữ Fortran IV.

Mô hình thông số phân bố TOP là mô hình nhận thức mưa - dòng chảy. Mô hình hoạt động dựa trên các mô tả gần đúng về thuỷ văn, thuỷ lực. Để biểu diễn sự biến đổi của các trạng thái cũng như tính chất nội bộ của các lưu vực con, mô hình đã mô phỏng bằng các hàm số và sử dụng ít thông số nhất có thể để xác định giá trị các hàm số này. Các khái niệm của mô hình luôn được đơn giản đủ để các nhà làm mô hình có thể sửa đổi sao cho phù hợp với nhận thức cũng như sự khác biệt của lưu vực giúp cho việc sử dụng mô hình hiệu quả hơn. Chính vì sự đơn giản trong khái niệm và thành phần cấu trúc nên mô hình hiện được ứng dụng rất rộng rãi và phát triển theo nhiều hướng khác nhau để giải quyết các bài toán thuỷ văn như tính xói mòn, tính toán phân bố mực nước ngầm,…

Mô tả mô hình:

Hai thành phần được sử dụng trong tất cả các mô hình nhận thức mưa - dòng chảy: Sự cân bằng nước trong tầng đất và sự vận chuyển nước tới cửa ra của lưu vực. Sự cân bằng nước trong tầng đất là thành phần quan trọng nhất trong việc biểu thị đặc điểm và cấu tạo mô hình. Thành phần vận chuyển nước nói chung được chia thành hai giai đoạn: đầu tiên là sự vận chuyển nước từ các sườn dốc tới các mạng lưới kênh tiêu nước và sau đó là sự vận chuyển nước từ các mạng lưới kênh tiêu nước tới cửa ra của lưu vực.

Ở mô hình TOP, cả hai thành phần dòng chảy mặt và dòng chảy dưới đất được tạo ra trực tiếp trong suốt chiều dài của mạng lưới kênh tiêu nước tại mỗi thời khoảng. Vì thế, nếu chỉ tính toán dòng chảy sườn dốc là chưa đủ, thành phần

vận chuyển nước ở mạng lưới kênh tiêu đóng một vai trò quan trọng. ở mô hình TOP nguyên thuỷ, sự vận chuyển này được mô tả bằng sơ đồ động học.

Mô hình được xây dựng dựa trên hai giả thiết cơ bản:

A1. Các hoạt động dòng chảy ở vùng bão hoà có thể coi là ổn định và liên tục.

A2. Gradien thuỷ lực của vùng bão hoà có thể được coi xấp xỉ với độ dốc địa hình bề mặt cục bộ (tanβ).

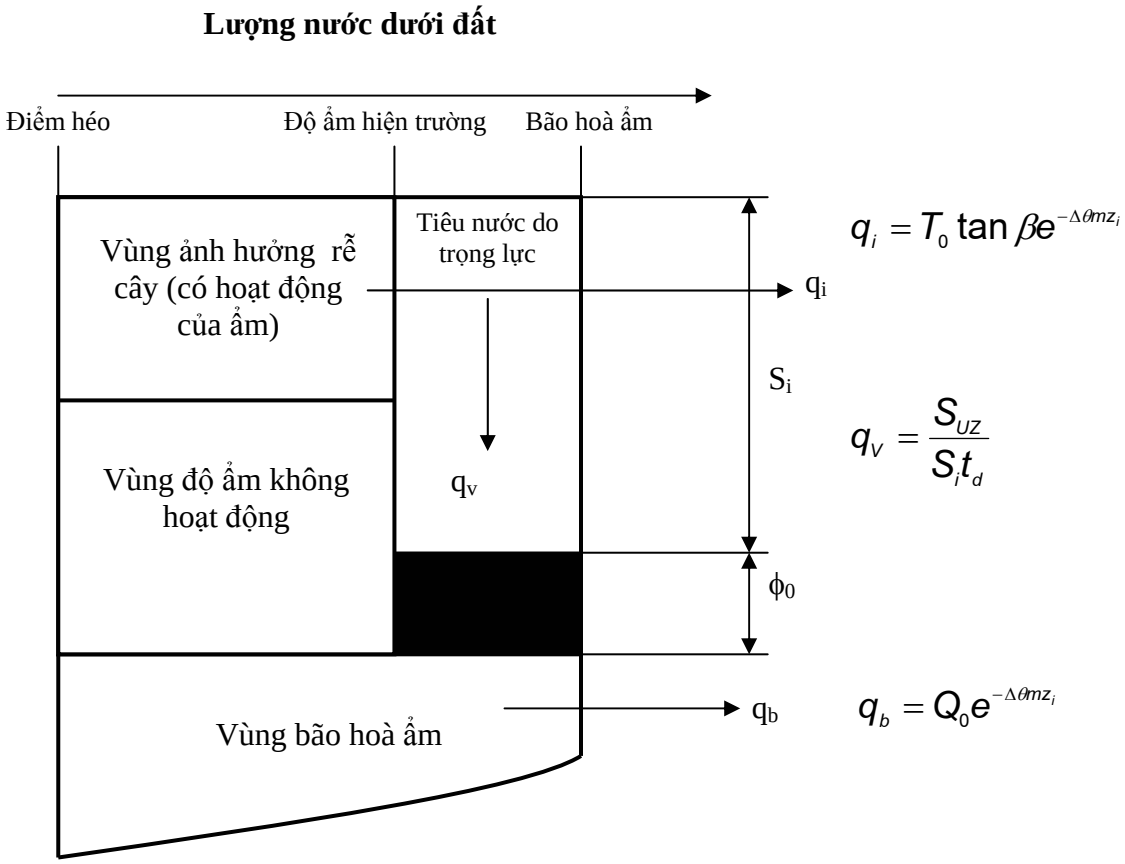
Những giả thiết này đã đưa ra các mối quan hệ đơn giản giữa sức chứa của lưu vực (hay độ thiếu hụt ẩm của kho chứa) với mực nước ngầm cục bộ (hoặc độ thiếu hụt ẩm do tiêu nước) thông qua nhân tố chính là chỉ số địa hình (a/tanβ) được Kirkby (1975) đề xuất và được Beven và Kirkby (1976, 1979) phát triển thành một mô hình thuỷ văn hoàn thiện. Chỉ số này biểu thị cho xu hướng các điểm trong lưu vực đạt tới các điều kiện bão hoà. Giá trị của chỉ số sẽ cao nếu chiều dài sườn dốc lớn hoặc là nơi hội tụ của đường đồng mức trên đỉnh dốc và góc của sườn dốc thấp. Mô hình TOP có thuận lợi do khả năng cho phép đơn giản hoá các công thức toán học như giả thiết thứ ba:

A3. Sự phân bố của khả năng chuyển nước ở chân dốc theo độ sâu là một hàm số dạng mũ của độ thiếu hụt ẩm của kho chứa hoặc độ sâu của mực nước ngầm.

$$T = T_0 e^{-S/m}$$

Trong đó: T_0 là khả năng chuyển nước sang bên khi đất mới bão hoà (m^2/h), S là độ thiếu hụt ẩm của kho chứa (m) và m là một thông số của mô hình (m).

Sau đây sẽ tập trung chính vào việc mô tả các thành phần cân bằng nước trong tầng đất và mô tả đặc điểm chính của mô hình TOP. Các thành phần sau được định nghĩa: khả năng chứa nước của vùng đất rễ cây (Soil root capacity); dòng chảy bề mặt do sự quá bão hoà; dòng chảy bề mặt do vượt thấm; và cuối cùng là dòng chảy từ vùng bão hoà.



Hình 1. Cấu trúc đơn giản của mô hình TOP

1) Khả năng chứa nước của vùng đất rễ cây:

Khả năng chứa nước của vùng đất rễ cây được mô tả bằng một hồ chứa với thông số là SR_{max}. Nước được lấy ra từ hồ chứa là lượng bốc hơi tiềm năng. Lượng mưa trong mạng lưới vượt quá khả năng chứa nước SR_{max} trong đất là số liệu vào cho các thành phần của mô hình ở bước sau.

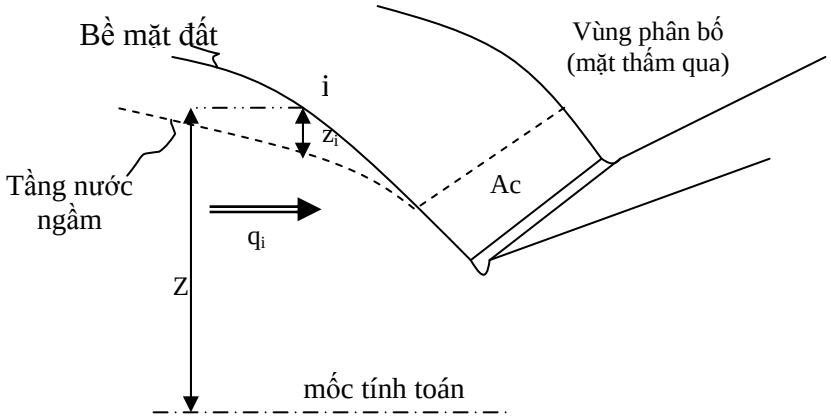
2) Dòng chảy bề mặt từ vùng quá bão hoà:

Ở mô hình TOP (xem hình 2), độ dẫn nước đã bão hoà của đất được dựa theo giả thiết thứ ba (A3):

$$K_s(z) = K_0 \exp(-fz)$$

Trong đó: z là độ sâu tới mực nước ngầm (Có trục hướng xuống dưới); K_0 là độ dẫn nước tại điểm bề mặt đất (được coi là hằng số trên toàn bộ lưu vực); và f

là hệ số của K_s ở độ sâu z (cũng được coi là hằng số trên toàn bộ lưu vực). Thông số f được mô tả gần đúng bằng phương trình f =Δθ/m. Trong đó: Δθ là hiệu số giữa lượng ẩm vùng bão hoà và lượng ẩm dư thừa tại cùng vị trí.



Hình 2. Sơ đồ miêu tả sự tạo thành dòng chảy của mô hình TOP trên một thung lũng trong lưu vực.

Theo giả thiết thứ hai (A2), gradient mực nước ngầm và dòng chảy vùng bão hoà tương đương với độ dốc của bề mặt đó (tanβ), vì thế tại vị trí i trên sườn dốc, lưu lượng dòng chảy vùng bão hoà ở chân dốc q_i cho mỗi đơn vị đường đồng mức (m^2/h) có thể mô tả bằng phương trình sau:

$$q_i = T_i \tan\beta e^{-fz_i} \qquad \text{(Định luật Darcy)} \qquad (2\text{-}1)$$

Trong đó: tanβ là độ dốc của bề mặt đất tại vị trí i; T_i là khả năng vận chuyển nước tại điểm i; và q_i là lưu lượng đơn vị tính theo chiều rộng.

Giá trị T_i được tính bằng cách tích phân phương trình (2-2) theo phương thẳng đứng:

$$T_i(z_i) = \int_{z_i}^{Z} K_s(x)dx = \frac{K_0}{f}[\exp(-fz_i) - \exp(-fZ)] = \frac{1}{f}[K_s(z_i) - K_s(Z)] \quad (2\text{-}2)$$

Trong đó: Z là chiều dày của vùng bão hoà.

Theo giả thiết một (A1), tại bất kỳ một bước thời gian nào, tồn tại dòng chảy gần như ổn định qua lòng đất, từ đó đưa ra giả thiết thứ 4:

A4. Tốc độ hồi phục nước ngầm r(m/h) đồng nhất theo không gian.

Dòng chảy chân dốc lớp dưới bề mặt đất cho mỗi đơn vị chiều dài đường đồng mức q_i được tính như sau:

$$q_i=ra \tag{2-3}$$

Trong đó: a là diện tích sườn dốc được tiêu nước ứng với mỗi đơn vị chiều dài đường đồng mức (m^2) tại điểm i.

Kết hợp giữa phương trình (2-1) và phương trình (2-3), ta nhận được công thức mô tả liên quan giữa độ sâu mực nước ngầm z_i và chỉ số địa hình ln(a/tanβ) tại điểm i, thông số f, khả năng vận chuyển nước T_i, và tốc độ hồi phục r:

$$z_i = -\frac{1}{f}\ln\frac{ra}{T_i \tan\beta} \tag{2-4}$$

Tích phân phương trình (2-4) cho toàn bộ diện tích của lưu vực (A) sẽ thu được giá trị trung bình độ sâu mực nước ngầm $\bar{z}$.

$$\bar{z} = \frac{1}{A}\sum_i -\frac{1}{f}\ln\frac{ra}{T_i \tan\beta} \tag{2-5}$$

Kết hợp (2-4), (2-5) và giả thiết r là hằng số:

$$\bar{z} = z_i - \frac{1}{f}\left[\gamma - \ln\frac{a}{T_i \tan\beta}\right] \tag{2-6}$$

Với :

$$\gamma = \frac{1}{A}\sum_i \ln\frac{a}{T_i \tan\beta}$$

Giá trị trung bình của khả năng chuyển nước trên lưu vực được tính:

$$\ln T_0 = \frac{1}{A}\sum_i \ln T_i \tag{2-7}$$

Vì thế:

$$f(\bar{z} - z_i) = \left[\ln \frac{a}{\tan \beta} - \lambda \right] - [\ln T_i - \ln T_0] \quad (2\text{-}8)$$

Trong đó:

$$\lambda = \frac{1}{A} \sum_i \ln \frac{a}{\tan \beta} \quad (2\text{-}9)$$

Phương trình (2-8) có thể viết dưới dạng:

$$\frac{(\bar{S} - S_i)}{m} = \left[\ln \frac{a}{\tan \beta} - \lambda \right] - [\ln T_i - \ln T_0] \quad (2\text{-}10)$$

Phương trình (2-10) mô tả sự chênh lệch giữa độ thiếu hụt lượng nước ngầm trung bình của lưu vực và sự thiếu hụt lượng nước ngầm tại vùng cục bộ tại bất kỳ điểm nào trong cả giai đoạn về sự chênh lệch của chỉ số địa hình cục bộ với giá trị trung bình trong lưu vực của nó. Từ phương trình, có thể thấy rằng tất cả các điểm có cùng chỉ số diện tích/ địa hình ($a/T_0 \tan\beta$) sẽ hoạt động tương tự về mặt chức năng. Vì thế chỉ số $a/T_0 \tan\beta$ là một chỉ số tương tự thuỷ văn.

3) Dòng chảy bề mặt từ vùng vượt thấm:

Ở đa số các phiên bản của mô hình TOP, tính toán dòng chảy vượt thấm được dựa vào phương trình Philip (1957):

$$g = cK_0 + \frac{1}{2} St^{-1/2}$$

Trong đó: g là khả năng thấm, S là thông số phụ thuộc vào thế mao dẫn của đất và độ dẫn thuỷ lực K_0, c là hệ số.

$$S = S_r K_0^{1/2}$$

K_0, S và c được coi là hệ số không thay đổi trên toàn bộ lưu vực.

4) Tính toán dòng chảy từ vùng bão hoà:

Phương trình (2-6) cho phép dự đoán các thành phần ở vùng bão hoà dựa vào giá trị độ sâu trung bình của tầng nước ngầm $\bar{z}$. Giá trị $\bar{z}$ được cập nhật liên tục tại tất cả thời đoạn Δt trong phương trình sau:

$$\bar{z}^{t+1} = \bar{z}^{t} - \frac{(Q_V^t - Q_B^t)}{A}\Delta t \qquad (2\text{-}11)$$

Q_V là lưu lượng dòng chảy hồi phục của vùng bão hoà từ vùng không bão hoà. Thuật ngữ dòng chảy cơ bản Q_b là sản phẩm của vùng bão hoà, được tính bằng cách tổng hợp các dòng chảy lớp dưới bề mặt theo suốt chiều dài của m kênh dòng chảy có chiều dài l.

$$Q_b = \sum_{j=1}^{m} l_j (T_0 \tan\beta) e^{-fz_j}$$

Thay thế z_j bằng phương trình (2-6) :

$$Q_b = \sum_{j=1}^{m} l_j a_j e^{-\gamma} e^{-fz}$$

Vì a_j là diện thích phân bố giữa 2 đường đồng mức đơn vị nên:

$$\sum_{j=1}^{m} l_j a_j = A$$

Vì thế:

$$Q_b = A e^{-\gamma} e^{-fz}$$

Do A là tổng diện tích của lưu vực nên đặt $Q_0=Ae^{-\gamma}$:

$$Q_b = Q_0 e^{-fz} \qquad (2\text{-}12)$$

5) Dòng chảy từ vùng không bão hoà:

Để tính toán sự biến đổi của dòng chảy từ vùng không bão hoà, mô hình sử dụng tối thiểu các thông số là độ ẩm vùng chưa bão hoà và độ sâu của mực nước ngầm (hay độ thiếu hụt nước). Mô hình TOP đã coi dòng chảy từ vùng bão hoà về cơ bản theo phương thẳng đứng.

Dòng chảy q_v được tính tại vị trí i như sau:

$$q_v = \frac{S_{UZ}}{S_i t_d}$$

Trong đó: S_{UZ} là độ ẩm của vùng không bão hoà, S_i là độ thiếu hụt ẩm tại vũng bão hoà do tiêu nước (phụ thuộc vào độ sâu của nước ngầm). Thông số t_d là hằng số thời gian.

Dòng chảy vào nước ngầm là q_v. Sự tiêu nước này cũng chính là thành phần nạp lại nước ngầm của vùng bão hoà. Để tính toán cân bằng nước trung bình trên toàn lưu vực, tất cả lượng nước nạp lại này được cộng lại. Nếu Q_V là tổng lượng nước nạp lại vào mực nước ngầm trong thời điểm bất kỳ thì:

$$Q_V = \sum_{i=1}^{n} q_{V,i} A_i$$

Trong đó A_i là diện tích của lớp chỉ số địa hình thứ i trong toàn bộ diện tích lưu vực.

6) Lượng bốc hơi:

Để tính toán lượng bốc hơi với số thông số tối thiểu, mô hình TOP đã sử dụng một hàm số để tính toán lượng bốc hơi thực tế (E_A) thông qua lượng bốc hơi tiềm năng (E_P) và độ ẩm hiện trường khi mà E_A không thể đo đạc trực tiếp. Khi vùng tiêu nước trọng lực ở vùng đất rễ cây bị làm cạn thì bốc hơi tiếp tục làm khô nước ở vùng này với tốc độ E_A:

$$E_A = E_P \left(1 - \frac{S_{RZ}}{S_{R\max}} \right)$$

Trong đó: S_{RZ} và S_{Rmax} tương ứng là độ thiếu hụt nước và khả năng chứa nước tối đa tại vùng đất rễ cây.

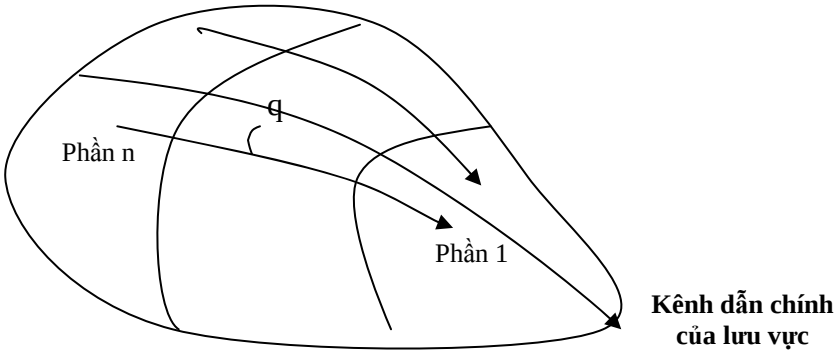
7) Diễn toán dòng chảy và cấu trúc của lưu vực con:

Với những lưu vực có nhiều lưu vực con, việc coi dòng chảy chảy từ các phần khác nhau trên lưu vực tới cửa ra của lưu vực trong cùng một bước thời gian

là không thích hợp. Beven và Kirkby (1979) đã đề xuất ra một hàm trễ cho dòng chảy trên đất liền và một hàm diễn toán dòng chảy trên kênh sử dụng trong mô hình TOP. Dòng chảy trên đất liền có thể diễn toán bằng cách dùng một thông số khoảng cách. Thời gian để tới cửa ra của lưu vực từ bất kỳ điểm nào được tính bằng:

$$t = \sum_{i=1}^{N} \frac{x_i}{\upsilon \tan \beta_i} \qquad (2\text{-}13)$$

Trong đó: x_i là độ dài và $\tan\beta_i$ là độ dốc của phần thứ i trong quãng đường của cả dòng chảy được chia thành N phần. Thông số vận tốc υ (m/h) được giả thiết là hằng số.



Hình 3. Cấu trúc cơ bản của lưu vực con và cách diễn toán dòng chảy tới cửa ra.

8) Các điều kiện ban đầu:

$$Q_V^1 = 0$$

$$Q_B^1 = Q_{do}^1$$

Từ phương trình (2-12), Q_B^1 có thể được viết lại như sau:

$$Q_B^1 = Q_0 e^{-f\bar{z}^1}$$

Vì thế:

$$\bar{z}^1 = -\frac{1}{f}\ln\left(\frac{Q_{do}^1}{Q_0}\right)$$

Kết luận:

Mô hình TOP là một mô hình thuỷ văn thông số phân bố ra đời cách đây hơn 30 năm nhưng vẫn được phát triển và ứng dụng rộng rãi cho đến tận bây giờ. Các khái niệm và cấu trúc của mô hình được đơn giản hoá tới mức có thể nhưng vẫn mô tả tốt tính chất vật lý của dòng chảy. Điều này đã giúp cho người sử dụng có thể chỉnh sửa tương đối dễ dàng để sử dụng cho các mục đích khác của mình.

Tham khảo:

1. Beven, K. J., Lamb, R., Quinn, P., Romanowicz, R., and Freer, J. 1995. 'TOPMODEL', in Singh, V. P. (Ed.), Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resource Publications, Colorado. pp. 627-668.
2. Beven, K. J. 1997. 'TOPMODEL: A critique', Hydrol. Process., 11, 1069-1085.
3. Beven, K. J.
3. Kirkby, M. J. 1997. 'TOPMODEL: a personal view', Hydrol. Process., 11, 1087-1097.
4. Quinn, P. F., Beven, K. J., and Lamb, R. 1995. 'The ln(a/tan b) index: how to calculate it and how to use it in the TOPMODEL framework', Hydrol. Process., 9, 161-182.
5. http://instaar.colorado.edu/topoflow/Downloads/Models/TopModel/Fortran_version/ Mẫu chương trình nguồn của TOPMODEL được viết bằng Fortran và các file dữ liệu.