

ỨNG DỤNG MÔ HÌNH THỦY VĂN PHÂN PHỐI CẶP TRONG NGHIỆP VỤ VẬN HÀNH HỒ CHỨA PHỤC VỤ KIỂM SOÁT LŨ VÀ QUẢN LÝ TÀI NGUYÊN NƯỚC

Oliver SAAVEDRA - Trường Đại học Tổng hợp Tokyo

TS. Dương Văn Khánh - Trung tâm Quy hoạch và Điều tra tài nguyên nước

Bài báo này đề cập khả năng mô phỏng lũ lớn trên lưu vực sông Hương ở Miền Trung của Việt Nam sử dụng dự báo lượng mưa từ qui mô toàn cầu và qui mô khu vực. Số liệu mưa thực đo và mây ảnh vệ tinh được sử dụng để xác định lượng mưa. Để tạo ra sự sử dụng lớn nhất của tính không đồng nhất theo không gian của các loại số liệu mưa khác nhau, mô hình thủy văn phân phối được sử dụng để mô tả quá trình thủy văn này. Bằng cách này, mô phỏng dòng chảy lũ sử dụng số liệu mưa xác định từ sản phẩm vệ tinh so sánh với số liệu thực đo. Dự báo từ quy mô toàn cầu đã chỉ ra việc thực hiện mô phỏng đỉnh lũ bình thường tốt hơn so với thời kỳ lũ lớn và đặc biệt lớn. Mặt khác, cũng cho thấy trong thời kỳ lũ đặc biệt lớn, sử dụng dự báo khu vực và ảnh mây vệ tinh là phương pháp cho kết quả tương đối gần với số liệu thực đo. Tổng lượng dòng chảy mô phỏng tại điểm khống chế ở hạ lưu và phạm vi vùng ngập lụt được xác định sử dụng các đặc điểm địa hình.

Nghiên cứu này là bước khởi đầu định hướng giúp phát triển chiến lược cứu hộ, phòng chống giảm nhẹ thiên tai và tăng cường năng lực cảnh báo sớm thiên tai lũ lụt hiệu quả trong tương lai.

1. Đặt vấn đề

Trong những thập kỷ vừa qua, lũ lụt, hạn hán xảy ra với tần suất cao hơn và mức độ thiệt hại cũng ngày càng lớn hơn, nhất là ở những vùng nhiệt đới nóng, ẩm. Nguyên nhân chính là do biến đổi khí hậu gây ra. Những trận lũ lớn gần đây đã gây ra những thiệt hại vô cùng to lớn về người và tài sản. Do đó, việc giảm thiểu thiệt hại do lũ lụt gây ra ngày càng trở nên bức thiết hơn. Một trong những giải pháp để bảo vệ tính mạng con người và giảm thiểu thiệt hại do thiên tai lũ lụt gây ra là tăng cường năng lực dự báo cũng như tăng cường năng lực kiểm soát lũ.

Có thể giảm thiểu sự phá hoại do các trận lũ lớn gây ra bằng các giải pháp vận hành hồ chứa hợp lý tăng dung tích hồ đủ để cắt lũ, hay tích nước hồ nhiều hơn để phục vụ cho mùa khô, tăng khả năng sử dụng khai thác tổng hợp hồ chứa như ngoài mục đích kiểm soát lũ còn đảm bảo tưới tiêu, cấp nước, phát điện,...

Bên cạnh những qui định vận hành hồ chứa cơ bản hay duy nhất trong những điều kiện bình thường thì kinh nghiệm hay cách xử lý tác nghiệp vận hành hồ chứa trong những thời điểm nguy hiểm cực hạn cũng cần được tính đến. Để có các quyết định thích hợp hay đáp ứng các nhu cầu thay

đổi có tính quốc gia thì các vấn đề như dòng chảy đến hồ cần phải được xem xét tính toán, dự báo. Nói chung, người ta thường sử dụng mô hình dạng thông số tập trung hay mô hình dạng hộp đen, trong đó giả thiết giá trị (tham số đầu vào mô hình) là không đổi trên lưu vực để tính dòng chảy đến hồ. Những năm gần đây, nhiều nhà thủy văn đã chỉ ra rằng, mô hình thủy văn phân phối (Distributed Hydrological Model – DHM) khi sử dụng với số liệu đầu vào như sản phẩm radar và các sản phẩm viễn thám khác có thể cho kết quả tính toán tốt hơn các mô hình dạng thông số tập trung.

Vận hành tối ưu hệ thống hồ chứa hiện tại cũng như quyết định xả nước vì các mục đích khác nhau trong khoảng thời gian ngắn là nội dung của vận hành hồ chứa thời gian thực. Để giải quyết các bài toán tổng thể một cách hiệu quả, một hướng mới trong quản lý hệ thống hồ chứa đa mục tiêu là sử dụng mô phỏng cặp mô hình thủy lực tổng thể với mô hình tối ưu vận hành hồ chứa. Cấu trúc mô hình cần được thiết lập dạng đơn giản nhất và bước đầu có đánh giá hiệu quả thu được trong vận hành hồ chứa đa mục tiêu tối ưu.

Nhằm giảm thiểu sự phá hoại của lũ và hạn hán cho lưu vực sông, bảo vệ khu vực hạ lưu và sử dụng hiệu quả tài nguyên nước, bài báo này trình bày

Người đọc phản biện: TS. Nguyễn Kiên Dũng

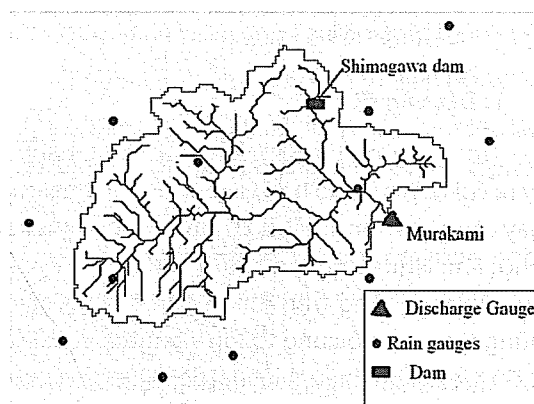
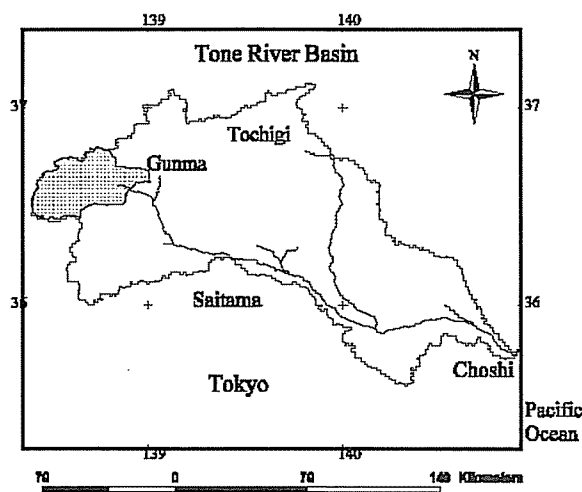
việc áp dụng mô hình thủy văn phân phối kết hợp với mô đun vận hành hồ chứa sử dụng số liệu mưa từ các sản phẩm radar phân phối theo không gian để mô phỏng quá trình thủy văn trên lưu vực sông Agatsuma của Nhật Bản theo bước thời gian tính toán là 1 giờ. Số liệu đầu vào của mô đun vận hành hồ chứa chạy đồng thời với mô hình thủy văn phân phối sử dụng số liệu mưa biên dịch từ các sản phẩm radar và số liệu từ các trạm đo mưa. Mô đun vận hành hồ chứa sử dụng hàm lượng trữ để cập nhật dung tích hồ tại mỗi bước thời gian. Lượng trữ của hồ được xác định nhờ đường quan hệ $H - V$ (mức nước hồ - dung tích của hồ). Quy tắc vận hành hồ dựa trên mức nước hồ được cập nhật để quyết định lượng dòng chảy xả xuống hạ lưu. Phát triển sơ đồ

vận hành để tạo ra công cụ đơn giản điều chỉnh quy tắc vận hành hồ. Kết quả của nghiên cứu này sẽ cho phép phối hợp với sơ đồ vận hành tối ưu trong nghiên cứu sau này.

2. Lưu vực nghiên cứu

Lưu vực sông Agatsuma nằm ở thượng lưu phía tây bắc lưu vực sông Tone, khu vực Kanto của Nhật Bản được lựa chọn nghiên cứu. Sông Agatsuma chảy vào khu vực thượng lưu sông Tone. Sông Tone có ý nghĩa quan trọng trong việc cung cấp nước, thủy điện cho khu vực Tokyo. Nhưng hiện tại, sự quản lý vẫn còn thô sơ.

Diện tích lưu vực nghiên cứu thượng lưu đến vị trí trạm đo lưu lượng Murakami là 1230 km² (Hình 1)



Hình 1. Lưu vực sông Tone

Độ cao lưu vực thay đổi từ 278 m đến 2511 m, độ cao trung bình lưu vực là 1064 m, khu vực này là vùng rừng núi còn mang tính tự nhiên. Lượng mưa trung bình năm khoảng 1400 mm. Những trận mưa lớn tập trung vào thời gian tháng 7, 8, 9, thường là do hoạt động kết hợp của hoàn lưu bão và front.

Trong lưu vực nghiên cứu có 1 đập nhỏ phục vụ mục đích thủy điện và kiểm soát lũ. Lượng dòng chảy của lưu vực này tương đối dồi dào quanh năm. Đặc trưng của đập Shimagawa được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. Các đặc trưng của đập Shimagawa (lưu vực sông Agatsuma)

Bắt đầu /kết thúc (năm)	Diện tích mặt hồ (km ²)	Chiều cao đập (m)	Dung tích hồ (1000 m ³)
1980/1999	31,75	89,5	8,6

Đập Shimagawa do quận Gunma vận hành phục vụ mục đích cấp điện và kiểm soát lũ. Trong năm thủy văn, dòng chảy tối thiểu không đổi, đảm bảo cung cấp điện năng, đồng thời khi mưa lớn thì phục vụ cắt đỉnh lũ bằng việc tích nước vào hồ và giữ nước để phục vụ tưới tiêu trong mùa khô.

3. Phương pháp nghiên cứu

Số liệu phục vụ nghiên cứu cũng như cấu trúc mô hình cập bao gồm mô hình thủy văn phân phối và mô đun vận hành hồ chứa sẽ được mô tả dưới đây.

a. Mô hình thủy văn phân phối (DHM)

DHM được sử dụng để mô phỏng quá trình thủy văn phân phối theo không gian cho lưu vực sông Agatsuma, bao gồm mô phỏng quá trình dòng chảy đến hồ chứa và diễn toán dòng chảy trong mạng lưới sông suối. Mô hình DHM sử dụng trong nghiên cứu này là mô hình cơ sở thủy văn - địa mạo (Geomorphology - Based Hydrological Model - GBHM). Trong đó đường đơn vị được xem như là mặt phẳng hình chữ nhật nghiêng (đối xứng hình học) với chiều dài xác định và chiều rộng là một đơn vị. Góc nghiêng hình chữ nhật được xác định bởi độ dốc bề mặt và lớp đá gốc, song song với bề mặt lưu vực. GBHM là mô hình thủy văn vật lý cơ bản mô phỏng quá trình thủy văn bằng 2 mô hình:

- Mô hình đường đơn vị xác định quá trình thủy văn qua các tham số như độ che phủ của lá cây (vòm cây, tán lá), sự ngưng nước (giữ nước,...), quá trình bốc hơi, quá trình thấm, dòng chảy mặt, sát mặt, cũng như sự trao đổi nước giữa lớp nước mặt và lớp nước ngầm,...

- Quá trình diễn toán dòng chảy trong sông bằng phương trình sóng động học (kinematic wave). Sự mô phỏng được thực hiện trên từng lưu vực bộ phận và được liên kết theo sơ đồ Pfafstetter. Mỗi lưu vực bộ phận được chia ra một số thời khoảng dòng chảy xác định bằng 2 lần kích thước mắt lưới mô phỏng.

- Sự mô phỏng được thực hiện khi mô đun quá trình hình thành dòng chảy (dòng chảy mặt và dòng chảy sát mặt) bắt đầu, dòng chảy sườn dốc chảy vào sông chính. Mô hình diễn toán lũ thu thập dòng chảy từ các nguồn đổ vào sông chính theo hướng cửa ra. Thủ tục này giảm một cách đáng kể thời gian tính toán vì nó là mô phỏng một chiều,

phù hợp với các đặc tính địa chất, địa mạo.

Số liệu không gian

Bước đầu tiên để chuẩn bị số liệu cho mô hình tính toán, dự báo thủy văn là phân chia lưu vực nghiên cứu thành các lưu vực con qua sử dụng công nghệ GIS. Tiếp theo, lưu vực được phân chia thành các lưu vực con có diện tích tùy ý theo sơ đồ Pfafstetter. Trong mô phỏng của các mô hình hiện nay, diện tích lưu vực con thường khoảng 25 km².

Tiếp theo, sử dụng công nghệ GIS để xây dựng bản đồ ô lưới của thảm phủ, thổ nhưỡng, địa chất. Bản đồ thảm phủ với bước lưới 100 m có sẵn cho khu vực nghiên cứu gồm 6 loại thảm phủ, trong đó chủ yếu là rừng và cỏ chiếm tỷ lệ tương ứng là 79,3% và 9,5% so với toàn bộ diện tích lưu vực. Phần diện tích lưu vực còn lại là sỏi đá, ngập nước, công trình xây dựng và cỏ trống. Bản đồ địa chất và thổ nhưỡng được xây dựng từ việc số hóa bản đồ quận Gunma tỷ lệ 1/200.000 (bản đồ phục vụ tưới tiêu). Những bản đồ đặc thù riêng như độ dốc bề mặt lưu vực, độ sâu lớp đất bề mặt, chiều dài sườn dốc, được xây dựng từ các số liệu của lưu vực.

Sự phân bố và độ sâu của lớp đất bề mặt có vai trò quan trọng đặc biệt, liên quan đến giá trị lưu lượng dòng chảy mô phỏng vì các tầng bão hòa nước ban đầu, độ sâu lớp đất sát mặt được xác định bởi độ sâu lớp đất bề mặt. Độ sâu lớp đất bề mặt thường từ 1 đến 5 m, và trung bình là 2 m.

Bản đồ thổ nhưỡng số hóa được xây dựng từ bản đồ địa chất và thảm phủ.

Số liệu thời gian

Song song với việc xây dựng các bản đồ tham số của lưu vực phân phối theo không gian, thì chuỗi số liệu theo thời gian cũng được chuẩn bị bao gồm: số liệu mưa, sản phẩm radar đã được biên dịch, hệ thống trạm thu thập số liệu khí tượng tự động cung cấp số liệu mưa giờ tại các vị trí trong và xung quanh lưu vực (xem hình 1). Vì số liệu mưa là số liệu tại từng điểm đo trên lưu vực, do đó sử dụng phương pháp đa giác Thiessen để nội suy lượng mưa cho các khu vực không có trạm.

Số liệu mưa radar giờ được kiểm chứng chính xác với độ phân giải 2,8 km (số liệu năm 2001 do Bộ Giao thông Vận tải và Cơ sở hạ tầng của Nhật Bản cung cấp).

b. Mô đun vận hành hồ chứa

Hàm lượng trữ được sử dụng để diễn tả sự thay đổi tổng lượng theo thời gian như lượng vào – lượng ra trong phương trình (1) sau:

$$\frac{dV}{dt} = Q_{in} - Q_{out} \quad (1)$$

Với lượng dòng chảy đến hồ (điều kiện ban đầu), đặc trưng hồ chứa (mức nước, quan hệ Z-V,...) và quy trình vận hành hồ chứa xác định, dòng chảy ra từ hồ chứa được mô phỏng theo tài liệu tham khảo [7].

Phương trình (1) trên được viết dưới dạng sai phân sau:

$$\frac{V_2 - V_1}{\Delta_t} = \frac{Q_{in}^1 + Q_{in}^2}{2} - \frac{Q_{out}^1 + Q_{out}^2}{2} \quad (2)$$

Trong đó: V_1, V_2 là dung tích hồ ở thời điểm 1 và 2 (m^3);

$Q_{in}^1, Q_{in}^2, Q_{out}^1, Q_{out}^2$ (m^3/s) là lượng dòng chảy đến hồ và lượng dòng chảy ở mặt cắt cửa ra của hồ chứa ở các thời điểm 1 và 2;

Δ_t là khoảng thời gian (h).

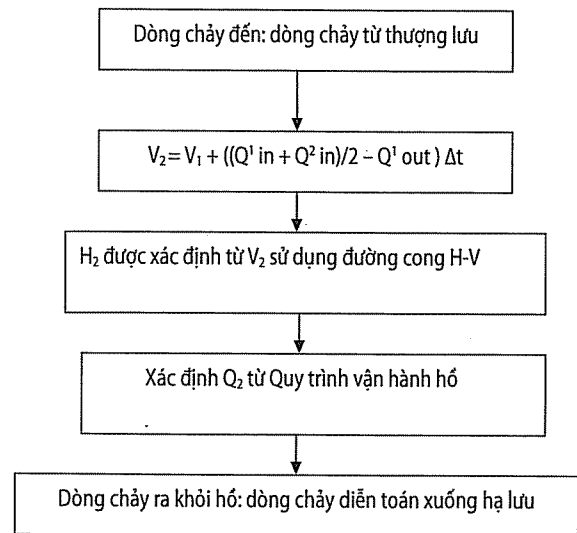
Biến đổi và sắp xếp lại phương trình (2), lượng trữ hồ chứa có thể biểu thị bằng phương trình sai phân xác định:

$$V_2 = V_1 + \left(\left(\frac{Q_{in}^1 + Q_{in}^2}{2} \right) - Q_{out}^1 \right) \Delta_t \quad (3)$$

Trong phương trình (3), Q_{out}^1 đại diện lượng dòng chảy ra giả thiết không đổi trong khoảng thời gian giữa 1 và 2.

Dòng chảy đến hồ chứa được xem là điều kiện biên. Lượng trữ thực tế V_1 và mực nước hồ được xem là điều kiện ban đầu. Lượng trữ ở thời đoạn t_2 (thời gian tiếp theo) được tính toán bằng phương trình (3). Sử dụng quan hệ mực nước và lượng trữ, giá trị mực nước ở bước thời đoạn t_2 được xác định bằng ngoại suy tuyến tính từ V_2 . Sau khi mực nước ở thời t_2 được xác định, lượng xả được tính toán bằng sử dụng quy trình vận hành hồ. Quy trình này được tóm tắt trong hình 2.

Trong mô hình hiện tại, quy trình vận hành hồ chứa tuyến tính đơn giản lượng nước xả R theo vận hành hồ thực tế sử dụng mực nước cập nhật H như sau:



Hình 2. Sơ đồ mô hình vận hành hồ chứa

$$R = aH - b \quad (4)$$

Trong đó, các tham số a, b của phương trình (4) được kiểm chứng bằng phân tích quan hệ lượng xả đo được và mực nước hồ trong đợt vận hành hồ mùa hè năm 2001.

Hơn thế, các điều kiện ràng buộc của hồ chứa như các cực trị lớn nhất, nhỏ nhất của dòng chảy ra từ hồ chứa, lượng trữ, được xem xét để xác định điều kiện biên hoặc giới hạn của đường nước rút.

Từ sơ đồ 2 ta thấy, sau khi mực nước H_2 được xác định, thì lượng nước xả ra có thể xác định bằng phương trình (4).

Sau khi sơ đồ vận hành hồ chứa được xác định, vị trí đập Shimagawa được định vị trên bản đồ mạng lưới sông của mô hình thủy văn phân phối bởi mã số của các lưu vực con và số thời khoảng dòng chảy.

3. Ứng dụng mô hình thủy văn phân phối

Thời gian áp dụng mô hình trên vào tháng 8 năm 2001 (đây là thời kỳ mùa lũ và có đủ số liệu). Mô hình DHM được chạy với bước thời gian là 1 giờ. Điều kiện ban đầu (bao gồm độ ẩm đất, mực nước ngầm) được xác định phục vụ chạy mô hình mô phỏng thời đoạn tháng.

Các đặc tính thủy lực của các lớp dòng chảy mặt, sát mặt, dòng chảy ngầm được xác định bằng chạy mô hình GBHM từ tháng 6 đến tháng 10 năm 2001. Phương pháp hiệu chỉnh mô hình được thực hiện bằng phương pháp thử sai so sánh giữa kết

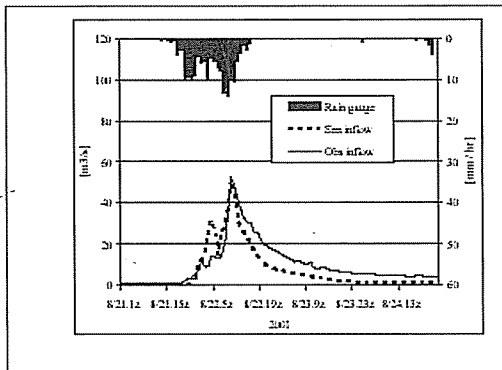
quả mô phỏng với số liệu thực đo tại 2 điểm đầu vào hồ chứa và trạm Murakami. Do đặc tính thủy lực thay đổi theo dạng đất đá, vì vậy cần phân tích yếu tố thổ nhưỡng tại thời điểm hiện tại và cố định các yếu tố khác.

4. Kết quả

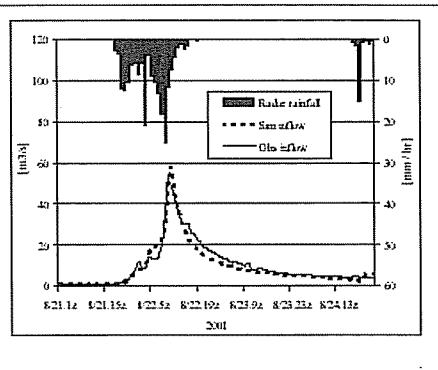
Kết quả mô phỏng lưu vực sông Agatsuma

được so sánh với số liệu thực đo lưu lượng trong trận lũ ngày 21 – 24 tháng 8 năm 2001. Hai dạng số liệu mưa đầu vào được sử dụng là: Số liệu trạm đo mưa (điểm) và số liệu mưa nội suy từ sản phẩm radar phân phối theo không gian.

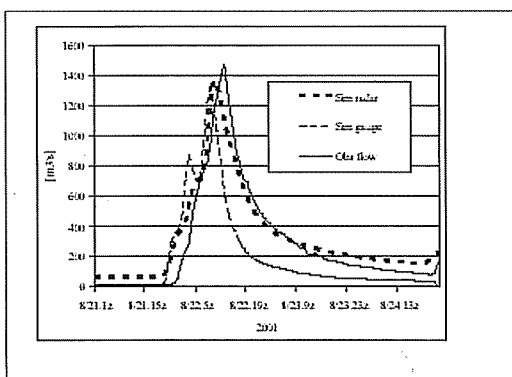
Hình 3 và hình 4 chỉ ra kết quả thực hiện mô phỏng dòng chảy đến hồ chứa Shimagawa sử dụng 2 dạng số liệu đầu vào trên.



Hình 3. Dòng chảy đến đập Shimagawa (sử dụng số liệu mưa đo tại trạm khí tượng bề mặt)



Hình 4. Dòng chảy đến đập Shimagawa (sử dụng số liệu mưa nội suy từ sản phẩm Radar)

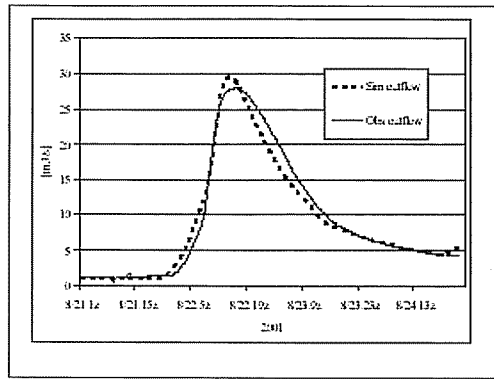


Hình 5. Đường quá trình lưu lượng thực đo và tính toán tại trạm Murakami. (sử dụng số liệu mưa đo tại trạm khí tượng bề mặt và số liệu mưa nội suy từ sản phẩm Radar)

Nhìn chung có thể thấy rằng, cả 2 dạng đường quá trình mô phỏng đều cho kết quả tương đối sát so với số liệu thực đo. Tuy nhiên, đường quá trình lưu lượng mô phỏng sử dụng số liệu mưa nội suy từ sản phẩm radar phân phối theo không gian (Hình 4) cho kết quả tốt hơn (tương đối phù hợp với thực tế) là đường lưu lượng mô phỏng (Hình 3) mà sử dụng số liệu mưa của các trạm khí tượng bề mặt. Tại trạm đo lưu lượng Murakami (vị trí khống chế

toàn bộ lưu vực nghiên cứu), kết quả tính toán lưu lượng dòng chảy sử dụng số liệu mưa nội suy từ sản phẩm radar tốt hơn so với kết quả tính toán lưu lượng dòng chảy sử dụng số liệu mưa tại các trạm quan trắc mặt đất.

Để kiểm tra sự thực hiện của mô đun vận hành hồ chứa, lượng xả từ hồ chứa mô phỏng sử dụng số liệu radar được so sánh với số liệu thực đo được thể hiện trong hình 6.



Hình 6. Đường quá trình lưu lượng dòng chảy ra từ đập Shimagawa

Tương quan giữa lưu lượng xả từ hồ chứa thực đo và mô phỏng là 0,8. Thời gian thực hiện mô phỏng lưu vực sông có diện tích 1230 km² sử dụng ô lưới 500 m với bước thời gian tính bằng 1 giờ chạy trên máy tính Pentium IV, 1.3GHz chỉ mất 3 phút.

5. Một số vấn đề cần thảo luận

Dòng chảy thượng lưu, lưu vực sông Agatsuma ở Murakami, Nhật Bản được mô phỏng bằng mô hình thủy văn thông số phân bố nhằm tăng độ chính xác dòng chảy đến hồ.

Đường quá trình lưu lượng mô phỏng và thực đo được so sánh tại cửa ra của đập Shimagawa và tại mặt cắt cửa ra - trạm Murakami. Quá trình lưu lượng được mô phỏng sử dụng số liệu đầu vào cho mô hình là số liệu mưa nội suy từ sản phẩm radar phân phối theo không gian cho kết quả tốt hơn số liệu mưa thu được từ các trạm quan trắc mưa mặt đất trong trận lũ ngày 22 tháng 8 năm 2001. Độ chính xác của đỉnh lũ mô phỏng tại Murakami trong hình 5 thấp hơn so với kết quả mô phỏng trong hình 3 và 4 có thể do sai số của quá trình diễn toán dòng chảy trong mạng lưới sông trên lưu vực và có thể do thiếu số liệu lưu lượng thực đo để kiểm chứng.

Mô phỏng vận hành đập Shimagawa được thực hiện, trong đó dòng chảy đến hồ được cung cấp từ mô hình thủy văn thông số phân phối. Tương tự như mô hình thủy văn, sự thực hiện của mô đun vận hành hồ chứa cũng được chứng minh rất hiệu quả so với sử dụng biểu đồ đường nước rút (Hình 6) và điều đó cũng làm giảm bớt sai số tương quan.

Quy trình vận hành tuyến tính được phát triển chỉ để xác định lượng xả trong trận lũ ngày 21/8/2001 không đảm bảo đại diện cho năm thủy văn vì đã bỏ qua tham số tuyết tan trong mùa đông.

So sánh đường quá trình lũ đến hồ trong hình 4 và hình 6 cho thấy, đỉnh lũ bị cắt giảm một nửa về độ lớn.

Từ quá trình lũ mô phỏng trong trận lũ ngày 22 tháng 8 năm 2001 cho thấy, dung tích trữ lũ thực tế của hồ chứa Shmagawa mới chỉ dùng 20% so với dung tích phòng lũ của hồ, điều này có nghĩa có thể cắt giảm những trận lũ có đỉnh cao hơn.

Tóm lại, sử dụng mô hình thủy văn thông số phân phối song hành với mô đun vận hành hồ chứa rất phù hợp với những ưu điểm sau :

- Khai thác sử dụng số liệu mưa từ các sản phẩm radar;
- Dự báo dòng chảy đến hồ và dòng chảy hạ lưu;
- Mô phỏng vận hành hồ chứa;
- Thời gian tính toán nhanh.

Sự biến đổi theo thời gian và không gian của lượng mưa có thể cập nhật hoặc dự báo để mô phỏng chính xác lượng dòng chảy đến hồ. Bằng phương pháp này, mô hình phân phối cặp có thể giúp phân tích các tình huống khác nhau như khả năng trữ nước của hồ, sự thay đổi các tham số của qui trình vận hành hồ. Điều này sẽ là các công cụ hiệu quả trong quản lý, khai thác hồ và tăng khả năng kiểm soát lũ.

Đây chỉ là kết quả mô phỏng thành công cho

một hồ chứa bằng mô hình thủy văn phân phối cặp, nhưng kết quả nghiên cứu cũng chỉ ra các đặc tính để có thể mô phỏng cho hệ thống hồ chứa đa mục tiêu thời gian thực. Một sơ đồ tối ưu thích ứng của qui trình vận hành hồ chứa có thể vận hành song song với mô hình thủy văn phân phối nhằm tăng cường năng lực quản lý tài nguyên nước.

Hiện nay, chúng ta có rất nhiều các hồ chứa lớn đặc biệt hệ thống liên hồ chứa. Do đó, việc quản lý và khai thác tối ưu hồ chứa phục vụ phát triển kinh tế - xã hội và kiểm soát lũ là rất cần thiết. Phương pháp nghiên cứu trên đây là những gợi mở trong công tác quản lý, khai thác tối ưu hồ chứa ở Việt Nam.

Tài liệu tham khảo

1. Yang D., Koike, T., and Tanizawa, H.: *Application of a distributed hydrological model and weather radar observations for flood management*, *Hydrological Processes*, Vol. 18, pp.3119-3132, 2004.
2. Cranmer A.J., Kowen N. and Mousavi S.F.: *Proving WATFLOOD: modeling the nonlinearities of hydrologic response to storm intensities*, *Canadian journal of Civil Engineers*, Vol. 28, pp. 837-855, 2001.
3. Yeh, W.W-G: *Reservoir Management and operations models: a state-of-the-art review*, *Water Resources Research*, Vol. 21(12), pp. 1797-1818, 1985.
4. Dessalegne T., Nicklow J., and Minder E.: *Evolutionary computation to control unnatural water level fluctuations in multi-reservoir river systems*, *River Research and Applications*, Vol. 20, pp.619-634, 2004.
5. Yang D., Herath S., Musiaka K.: *Hillslope-based hydrological model using catchment area and width functions*, *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 47, pp.49-65, 2002.
6. Yang D., Musiaka K: *A continental scale hydrological model using distributed approach and its application to Asia*, *Hydrological Processes*, Vol. 17, pp.2855-2869, 2003.
7. Ponce, V.M: *engineering hydrology: principle and practices*, first edition, Cambridge University Press/Pren-tice Hall, 1989.
8. Oliver SAAVEDRA¹, Toshio KOIKE², Dawen YANG³ .. *Application of a distributed hydrological model coupled with dam operation for flood control purposes*. *Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE*, Vol.50, 2006, February.