

DỰ TÍNH BIẾN ĐỔI MƯA LỚN Ở LƯU VỰC SÔNG VU GIA-THU BỒN GIAI ĐOẠN 2015-2039 VÀ GIẢI PHÁP CẮT LŨ THÍCH ỨNG VỚI BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU

Đỗ Hoài Nam, Nguyễn Thành Công,
Nguyễn Quốc Dũng
Viện Thủy Công
Đặng Thanh Mai
Trung tâm Dự báo KTTV Trung ương

Tóm tắt: Bài báo này trình bày dự tính biến đổi mưa lớn ở lưu vực sông Vu Gia-Thu Bồn trong giai đoạn 2015-2039 bởi mô hình khí hậu có độ phân giải siêu cao. Kết quả cho thấy lượng mưa trung bình năm được dự báo không thay đổi nhiều, nhưng tần suất và cường độ các trận mưa có thời đoạn (1-3 ngày) dự tính tăng lên đáng kể ở khu vực địa hình núi cao, trong khi đó ở khu vực địa hình thấp ven biển, cực đoan lượng mưa có xu thế giảm so với giai đoạn cơ sở 1979-2003. Bài báo cũng đã giới thiệu giải pháp xả lũ sớm và cho thấy có tính khả thi cao trong việc vận hành hồ chứa thích ứng với biến đổi khí hậu, đảm bảo an toàn đập và giúp giảm nguy cơ lũ lụt cho hạ du.

Từ khóa: Mô hình khí hậu, độ phân giải siêu cao, mưa lớn, dự báo lũ, xả lũ sớm

Summary: This paper presents the assessment of changes in rainfall extremes at Vu Gia-Thu Bon river basin in period 2015-2039 projected by a super high resolution climate model. Results indicate that mean annual rainfall is projected to increase slightly, but short duration rainfall extremes (R1D, R3d) are very likely to increase significantly in elevated terrains, meanwhile the rainfall extremes tend to decrease in low lying areas along the coastline. The paper also introduces an early flood release approach that shows high feasibility in reservoir operation adapting to climate change, ensuring dam safety and reducing flood risks in downstream areas.

Key words: Climate model, super high resolution, rainfall extremes, flood prediction, early flood release

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Xu thế gia tăng mưa lớn do tác động của biến đổi khí hậu (BĐKH) sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến quản lý và phát triển các lưu vực sông trong tương lai, đáng chú ý là có tác động mạnh đến công tác đảm bảo an toàn đập và cắt lũ cho hạ du. Các công trình hồ chứa đã được thiết kế từ 10 năm trở về trước chưa tính đến ảnh hưởng của BĐKH; các bài toán thiết kế đã dựa trên lượng mưa thực đo trong quá khứ để

lựa chọn các chỉ tiêu thiết kế theo tần suất, mà chưa xem xét đến các tác động của BĐKH trong tương lai [1]. Tuy nhiên, dưới tác động của BĐKH thì các chỉ tiêu thiết kế bị thay đổi về tần suất xuất hiện và cường độ như đã được đề cập trong các báo cáo đánh giá của Ủy Ban liên chính phủ về BĐKH (IPCC) [2], [3]. Ví dụ trận lũ tháng 8 năm 2002, mực nước lũ tại Dresden của Cộng hòa Liên bang Đức đã vượt mực nước lũ lịch sử trong nhiều thế kỷ [4].

Đánh giá được biến đổi cực đoan lượng mưa cũng như dự báo trước được dòng chảy lũ sẽ giúp công tác vận hành nhằm làm tăng năng lực phòng lũ của các hồ chứa hiện tại, đảm bảo an

Ngày nhận bài: 14/11/2016

Ngày thông qua phản biện: 15/12/2016

Ngày duyệt đăng: 26/12/2016

toàn đập và giảm rủi ro lũ cho hạ du. Bài báo này trình bày dự tính biến đổi mưa lớn ở lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn trong giai đoạn 2015-2039 mô phỏng bởi mô hình khí hậu độ phân giải siêu cao được xây dựng bởi Viện Khí tượng Nhật Bản (MRI); Và giới thiệu giải pháp vận hành xả lũ sớm nhằm tăng dung tích phòng lũ giảm thiểu tác động cho hạ du các hồ chứa, dựa trên dữ liệu dự báo lũ hạn ngắn với lượng mưa được tính toán bởi mô hình dự báo thời tiết của Cơ quan Khí tượng Nhật Bản (JMA).

2. KHU VỰC NGHIÊN CỨU VÀ PHƯƠNG PHÁP THỰC HIỆN

2.1. Khu vực nghiên cứu

Hệ thống sông Vu Gia-Thu Bồn có diện tích lưu vực vào khoảng 10.000 km², là một trong số các lưu vực sông lớn ở miền Trung. Do đặc điểm địa hình và hay chịu ảnh hưởng của hội tụ nhiệt đới, bão kết hợp với không khí lạnh nên khu vực nghiên cứu có lượng mưa lớn hơn nhiều so với các lưu vực lân cận trong khu vực. Vì thế, nơi đây thường xảy ra lũ lụt, gây thiệt hại nghiêm trọng về người và tài sản. Mặt khác, BĐKH cũng đã góp phần làm gia tăng nguy cơ lũ lụt ở khu vực nghiên cứu, số liệu quan trắc cho thấy xu thế gia tăng tần suất xuất hiện và cường độ mưa lũ trong thời gian gần đây, ví dụ, 6 trong tổng số 7 trận lũ xảy ra trong 50 năm trở lại đây rơi vào giai đoạn 1996-2010, đặc biệt là các trận lũ lịch sử năm 1998 và 1999.

2.2. Mô hình khí hậu độ phân giải siêu cao MRI-AGCM3.2S

Mô hình khí hậu độ phân giải siêu cao MRI-AGCM3.2S có kích thước ô lưới 20 km được thiết lập bởi MRI với mục đích mô phỏng các hình thái thời tiết cực đoan xảy ra ở quy mô nhỏ, quy mô lưu vực sông [5] [6]. Các sản phẩm của mô hình đã được sử dụng cho “Báo cáo đánh giá lần thứ 5” của IPCC [3]. Mô hình MRI-AGCM3.2S được xây dựng dựa trên các nguyên tắc cơ bản như được áp dụng đối với mô hình dự báo thời tiết hạn ngắn, đang chạy nghiệp vụ tại JMA. Tuy nhiên, mô hình MRI-

AGCM3.2S đã có những cải tiến về sơ đồ tham số hóa vật lý so với mô hình dự báo thời tiết, ví dụ như các sơ đồ tham số hóa mưa đối lưu, mây và bão nhiệt đới. Nghiên cứu này đã sử dụng kết quả mô phỏng lượng mưa ngày cho trạng thái khí hậu cơ sở 1979-2003 và dự tính cho giai đoạn 2015-2039. Ở trạng thái khí hậu cơ sở, mô hình đã được thử nghiệm với nhiệt độ trung bình tháng quan trắc ở bề mặt biển (SST). Đối với kịch bản dự tính cho tương lai, MRI đã sử dụng dữ liệu SST trung bình tổ hợp với kịch bản phát thải A1B [5].

Dữ liệu đầu ra của mô hình được tính trung bình cho các ô lưới được mã hóa dưới định dạng NetCDF theo quy định của Tổ chức Khí tượng thế giới - WMO sau đó đã được giải mã theo định dạng chuẩn (ASCCII) cho từng điểm trên lưới tính có bước 20 km.

2.3. Chỉ số cực đoan lượng mưa

Trong nghiên cứu này, mưa lớn được biểu diễn bằng các chỉ số lượng mưa thời đoạn cực đoan như được liệt ở Bảng 1 dưới đây, đó là các chỉ số được khuyến nghị bởi nhóm chuyên gia về BĐKH (ETCCDI, <http://www.clivar.org/organization/etccdi/etccdi.php>). Các chỉ số cực đoan lượng mưa đều được tính cho thời đoạn 25 năm đối với các trạng thái khí hậu cơ sở và tương lai.

Bảng 1 Các chỉ số cực đoan lượng mưa

Chỉ số	Định nghĩa	Đơn vị
R1d	Lượng mưa trong 1 ngày lớn nhất	mm
R3d	Lượng mưa liên tục trong 3 ngày lớn nhất	mm
R5d	Lượng mưa liên tục trong 5 ngày lớn nhất	mm
R95TOT	Tổng lượng mưa những ngày có mưa lớn hơn bách phân vị thứ 95 (hay có tần suất nhỏ hơn 5%)	mm

2.4. Mô hình dự báo thời tiết GSM

Dự báo dòng chảy đến hồ chứa dựa trên dự

tính lượng mưa bởi mô hình dự báo thời tiết có ưu điểm là có hạn dự báo dài hơn so với phương pháp dự báo theo thời gian thực với hạn dự báo phụ thuộc vào thời gian tập trung dòng chảy trên lưu vực. Cách tiếp cận này được cho là phù hợp đối với các lưu vực ở miền Trung với đặc điểm sông suối dốc, ngắn và tập trung dòng chảy nhanh.

Mô hình dự báo thời tiết có phổ biến ở hầu hết các quốc gia, đặc biệt các mô hình này được phát triển khá sớm ở Mỹ, Nhật Bản và một số nước châu Âu. Các mô hình dự báo thời tiết được xây dựng với những đặc thù riêng, tùy thuộc vào mục đích, hạn dự báo, sơ đồ tham số hóa vật lý, độ phân giải, v.v... Trong số đó, mô hình dự báo thời tiết GSM đang chạy nghiệp vụ tại JMA cho thấy khả năng phân tích, dự báo tốt các trận mưa lớn trên diện rộng ở miền Trung, do hoàn lưu các trận bão gây ra [7]. Mô hình GSM thuộc nhóm mô hình phổ toàn cầu có độ phân giải cao, phân tích cho 60 tầng khí quyển. Dự tính lượng mưa được trung bình cho các ô lưới với kích thước $0.5 \times 0.5^{\circ}$ (~ 60 km) với 4 bản tin dự báo/ngày cho 84 giờ đầu tiên và 2 bản tin dự báo/ngày cho 132 giờ tiếp theo. Sản phẩm dự báo là lượng mưa tích lũy trong 6 giờ, từ 00-6 giờ, 6-12 giờ, 12-18 giờ, và 18-24 giờ.

2.5. Hiệu chỉnh kết quả dự tính lượng mưa

Kết quả dự tính lượng mưa bởi các mô hình dự báo luôn có sai số do sự chưa hoàn thiện của các sơ đồ tham số hóa vật lý, điều kiện biên và độ phân giải của mô hình. Mô hình thường cho dự báo tốt tại các khu vực địa hình thấp và dự báo thiên nhỏ ở các khu vực núi cao [7]. Do đó, các kết quả dự tính trực tiếp từ mô hình sẽ cần phải hiệu chỉnh trước khi sử dụng để phân tích các yếu tố về thủy văn. Phương pháp hiệu chỉnh đơn giản, hay dùng, đó là dựa vào mối quan hệ giữa lượng mưa và độ cao địa hình. Bài báo này kế thừa các kết quả hiệu chỉnh đã áp dụng cho 09 trạm khí tượng ở miền Trung [8].

Sai số trong dự tính lượng mưa cũng tỉ lệ thuận với thời hạn dự báo; thời hạn dự báo

càng dài thì sai số dự báo càng lớn. Vì vậy, khuyến nghị nên sử dụng dự tính lượng mưa có thời hạn dự báo là 01 ngày thay vì nhiều ngày để hạn chế sai số; thời điểm đưa ra dự báo đầu tiên vào lúc 7 giờ sáng và cứ sau 24 giờ thì sẽ được cập nhật lại.

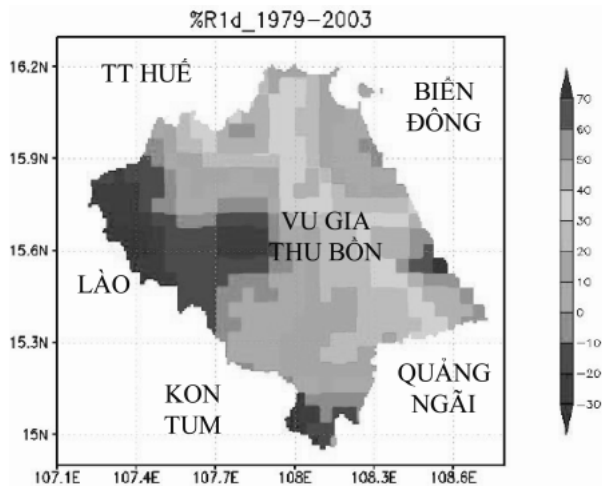
2.6. Mô hình thủy văn

Nhóm nghiên cứu đã sử dụng mô hình TANK, phiên bản mới [9], [7], để mô phỏng quá trình mưa rào dòng chảy trên lưu vực. Đây là mô hình có các tính năng nổi bật như tham số mô hình ít và hầu như không yêu cầu phải hiệu chỉnh, ứng dụng tốt cho các lưu vực không hoặc ít số liệu quan trắc; có thể tham khảo chi tiết mô hình này tại [7].

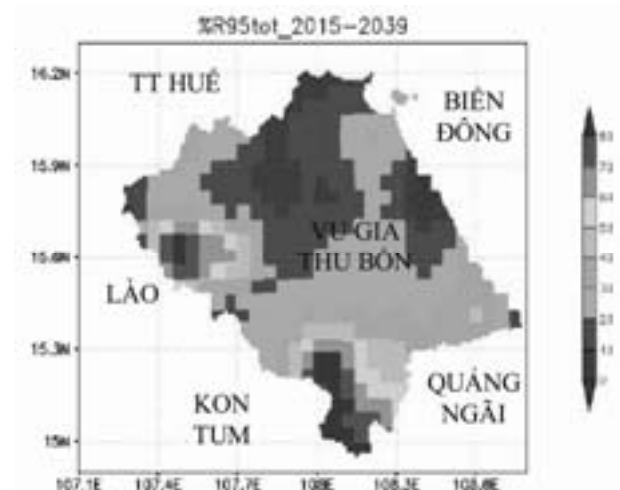
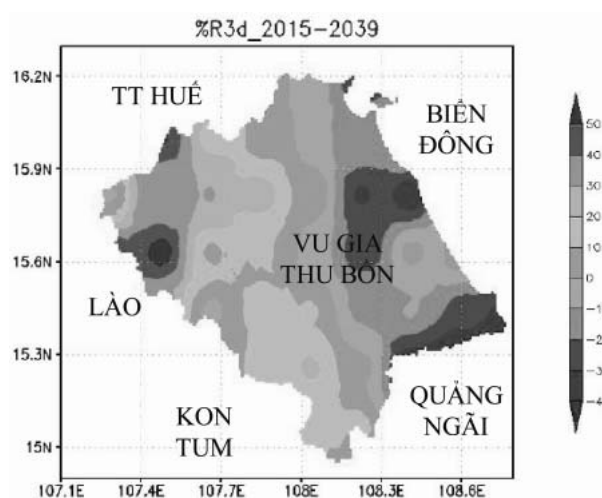
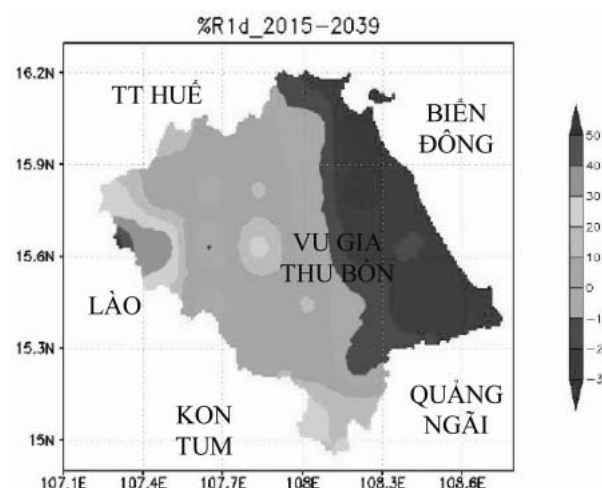
3. DỰ TÍNH BIẾN ĐỔI MƯA LỚN

3.1. Kiểm nghiệm kết quả mô hình

Đặc điểm nổi trội của mô hình khí hậu MRI-AGCM3.2S đó là lợi thế khi mô phỏng tốt các hình thái thời tiết cực đoan xảy ra ở quy mô nhỏ do các sơ đồ tham số hóa vật lý đã được cải thiện so với các mô hình khí hậu khác. Kết quả mô phỏng mưa ngày bởi mô hình MRI-AGCM3.2S đã được kiểm chứng với bộ số liệu phân tích mưa toàn cầu (CMAP) và cho thấy mức chênh lệch là khá nhỏ [5]. Đối với nghiên cứu này, chỉ số RID mô phỏng bởi mô hình trong giai đoạn 1979-2003 sẽ được kiểm chứng với số liệu quan trắc tại 09 trạm đo mưa trên lưu vực sông Vu Gia-Thu Bồn. Kết quả cho thấy mô hình khí hậu MRI-AGCM3.2S đã mô phỏng tốt chỉ số cực đoan lượng mưa RID trên toàn lưu vực (Hình 1). Sai lệch trung bình về cường độ ở mức thấp hơn 20 %, nhỏ hơn so với kết quả tương tự được mô phỏng bởi mô hình khí hậu khu vực [10]. Nhìn chung, mô hình MRI-AGCM3.2S có xu hướng mô phỏng thiên nhỏ chỉ số cực đoan lượng mưa RID ở khu vực địa hình núi cao và thiên lớn ở khu vực địa hình thấp. Các đặc điểm tương tự cũng được kiểm nghiệm đối với hai chỉ số còn lại là R3D và R5D.



Hình 1: Sai số (%) mô hình MRI-AGCM3.2S khi mô phỏng chỉ số cực đoạn lượng mưa R1d ở giai đoạn cơ sở 1979-2003



Hình 2: Dự tính biến đổi (%) chỉ số cực đoạn lượng mưa trong giai đoạn 2015-2039 bởi mô hình MRI-AGCM3.2S so với giai đoạn cơ sở: (a) R1d, (b) R3d, và (c) R95TOT

3.2. Dự tính biến đổi cực đoạn lượng mưa

Mặc dù các mô hình khí hậu hiện nay đã cho những tiến bộ về kết quả mô phỏng, nhưng vẫn tồn tại sai số nhất định như đã nêu ở trên. Vì vậy để đánh giá biến đổi cực đoạn lượng mưa, thông thường sẽ lấy kết quả mô phỏng cho giai đoạn tương lai so sánh với kết quả mô phỏng cho giai đoạn cơ sở. Như vậy, sai số của mô hình được hiểu sẽ tự triệt tiêu lẫn nhau.

Hình 2 minh họa dự tính biến đổi của một số chỉ số cực đoạn lượng mưa trong giai đoạn 2015-2039 so với giai đoạn cơ sở 1979-2003. Kết quả cho thấy mặc dù lượng mưa trung bình năm được dự tính tăng không đáng kể (dưới 5 %), nhưng các chỉ số cực đoạn lượng mưa R1d và R3d dự tính sẽ tăng khá lớn (~ 50 %) ở các khu vực địa hình cao ở phía tây của lưu vực nghiên cứu (sườn đông của dãy Trường Sơn) và có xu hướng giảm đi ở các khu vực địa hình thấp ven biển, trong khi đó cực đoạn lượng mưa R5d (không được minh họa) có xu hướng giảm so với khí hậu giai đoạn cơ sở. Tổng lượng mưa lớn (R95TOT) có nơi dự tính tăng 80 % (ở một số vùng núi cao) so với hiện tại. Như vậy có thể thấy rằng

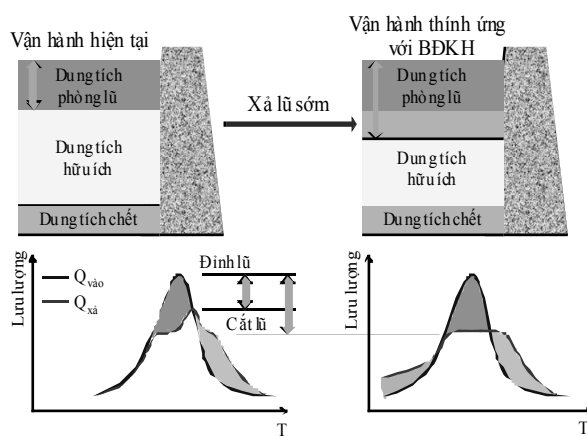
mưa lớn thời đoạn ngắn (1 đến 3 ngày) dự tính sẽ tăng mạnh cả về cường độ và tần suất xuất hiện.

4. GIẢI PHÁP CẮT LŨ CHO HẠ DU

4.1. Mô hình vận hành hồ chứa thích ứng với BĐKH

Từ kết quả dự tính biến đổi chỉ số cực đoạn lượng mưa như đã trình bày trong phần 3, với xu thế gia tăng lượng mưa thời đoạn ngắn R1d và R3d, có lẽ dung tích phòng lũ của các hồ chứa hiện tại sẽ không đủ và ẩn chứa nguy cơ tràn đỉnh gây mất an toàn công trình nếu tiếp tục thực hiện vận hành hồ chứa theo quy trình hiện tại. Như vậy, việc đề xuất các phương án ứng phó phù hợp là cần thiết. Với khả năng dự báo dòng chảy đến hồ ngày càng được cải thiện, giải pháp xả lũ sớm làm tăng dung tích phòng lũ trước khi lũ về được cho là một giải pháp khả thi trong việc ứng phó với BĐKH và đảm bảo an toàn đập. Giải pháp này hiện đang được áp dụng tại Nhật Bản và một số quốc gia khác trên thế giới.

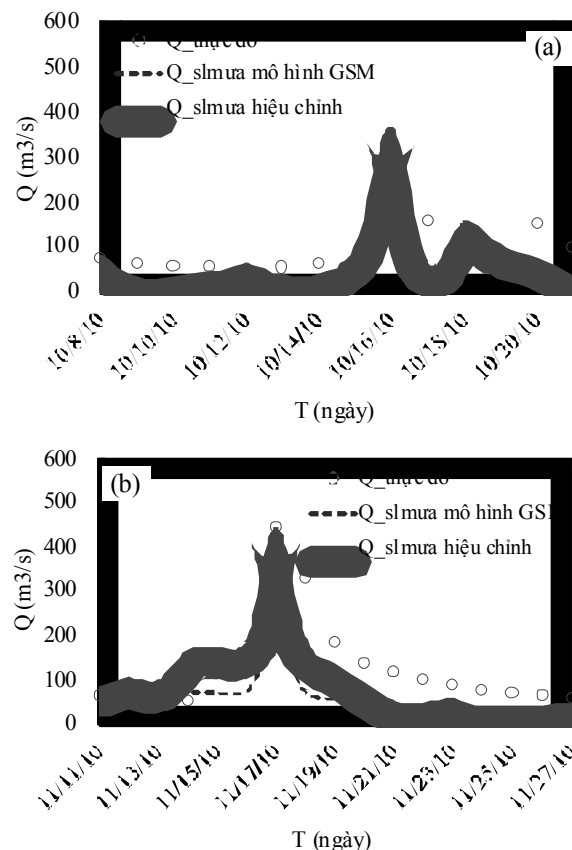
Mô hình vận hành xả lũ sớm cho các hồ chứa nước có cửa van điều tiết được minh họa trong Hình 3 dưới đây. Về mặt lý thuyết thì dung tích phòng lũ sẽ tăng lên khi vận hành xả lũ sớm và hiệu quả cắt lũ phụ thuộc vào dự báo dòng chảy đến hồ.



Hình 3: Sơ đồ vận hành hồ chứa cắt lũ thích ứng với BĐKH

4.2. Dự báo dòng chảy đến hồ

Để minh họa cho giải pháp cắt lũ cho hạ du như đã nêu ở trên, bài báo này giới thiệu trường hợp nghiên cứu đối với hồ thủy điện A Vương nằm ở thượng lưu sông Vu Gia. Các trận lũ tháng 10 và tháng 11 năm 2010 được sử dụng để kiểm nghiệm kết quả dự báo lũ đến hồ (Hình 4). Có thể nhận thấy rằng dự báo lũ đến hồ dựa vào dự báo mưa sau khi đã hiệu chỉnh đã cho kết quả khá phù hợp với thực đo, đặc biệt đối với đỉnh lũ và tổng lượng dòng chảy lũ, với chỉ tiêu phản ánh mức độ phù hợp của mô hình NSI (Nash-Sutcliffe Index) lần lượt là 67 % và 68 %. Tổng lượng lũ sai khác nhỏ hơn 15 %.



Hình 4: Dự báo (24h) dòng chảy lũ đến hồ A Vương với dự tính lượng mưa đã được hiệu chỉnh cho các trận lũ tháng 10 (Hình 4a) và tháng 11 (Hình 4b) năm 2010 [8]

4.3. Vận hành xả lũ sớm

Bài báo này giới thiệu một thuật toán đơn giản kết hợp với kinh nghiệm vận hành hồ chứa phòng chống lũ bão theo thời gian thực đã được áp dụng ở Nhật [11]. Vận hành hồ chứa xả lũ sớm được áp dụng cho trận lũ tháng 9 năm 2009.

Các tham số sử dụng để vận hành xả lũ sớm bao gồm dung tích hồ trước lũ, dự báo dòng chảy đến ($Q_{\text{đến}}$), biến đổi dung tích hồ ($\Delta V = Q_{\text{đến}} - Q_{\text{xả}}$), mực nước thấp nhất/cao nhất cho phép, dung tích cắt lũ ($S_{\text{cắt lũ}}$), và giới hạn xả ở hạ lưu hồ chứa (ở đây giới hạn xả được lấy bằng mức bình quân của lưu lượng xả có trị số lớn hơn lưu lượng xả trung bình năm). Nếu như $S_{\text{cắt lũ}}$ bằng 0 thì vận hành xả lũ $Q_{\text{xả}} = Q_{\text{đến}}$. Khi ΔV được dự báo sẽ tăng, chỉ dấu cho thấy lũ đang đến, hồ chứa bắt đầu vận hành xả để tăng dung tích phòng lũ; khi $Q_{\text{đến}}$ được dự báo giảm sau khi đã đạt đỉnh thì vận hành xả nên được giảm bớt để tích thêm nước vào hồ nhằm đảm bảo mực nước yêu cầu. Để đánh giá hiệu quả xả lũ sớm, hiệu suất cắt lũ xả về phía hạ du hồ chứa được sử dụng như được biểu diễn trong công thức (1).

$$P_r = \frac{Q^* - Q_{\text{max}}}{Q^*} (\%) \quad (1)$$

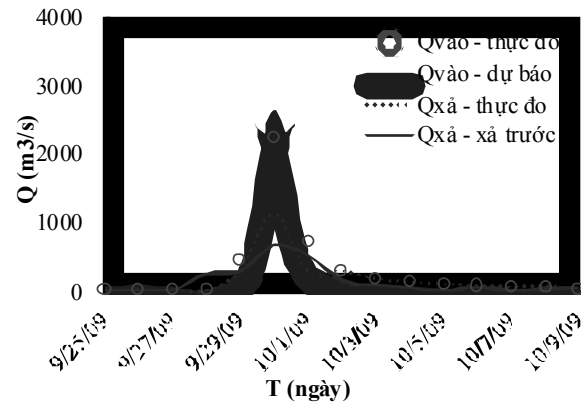
Với:

Q^* - là lưu lượng xả đạt đỉnh khi không vận hành xả lũ sớm

Q_{max} - là lưu lượng xả đạt đỉnh khi có vận hành xả lũ sớm

Trận lũ tháng 9 năm 2015 xảy ra do tác động bởi hoàn lưu của cơn bão nhiệt đới Ketsana, theo dự báo thì dòng chảy đến hồ bắt đầu tăng lên từ ngày 27 tháng 9. Như vậy, vận hành xả lũ sớm đã diễn ra được 2 ngày trước khi dòng chảy đến hồ đạt đỉnh vào ngày 29 tháng 9. Hình 5 minh họa dòng chảy thực đo và dự báo đến hồ trước 24h, lưu lượng xả thực tế và lưu lượng xả khi áp dụng vận hành xả lũ sớm (trước 48h). Kết quả cho thấy vận hành xả lũ

sớm có thể giảm được 40 % lưu lượng đỉnh lũ xả về hạ du so với vận hành hiện tại, điều này rất có ý nghĩa và góp phần giảm bớt nguy cơ lũ lụt cho khu vực.



Hình 5: Dự báo dòng chảy lũ đến hồ và vận hành xả lũ sớm (trước 24h) tại hồ A Vương cho trận lũ tháng 9 năm 2009 [8]

5. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

Đặc điểm nổi bật nhất của mô hình khí hậu có độ phân giải siêu cao MRI-AGCM3.2S đó là khả năng mô phỏng tốt các hiện tượng thời tiết cực đoan xảy ra ở quy mô nhỏ do những cải tiến về cấu trúc và độ phân giải của mô hình. Tuy vẫn còn tồn tại những sai số trong kết quả đánh giá vì sự không chắc chắn về kịch bản dự báo, nhưng vì mô hình mô phỏng trạng thái khí hậu trong tương lai gần nên sai số khi xác định điều kiện biên SST được cho là không đáng kể. Do đó, các kết quả dự tính biến đổi cực đoan lượng mưa ở nghiên cứu này được cho là có mức tin cậy cao.

Đề xuất giải pháp xả lũ sớm cũng cho thấy có tính khả thi cao trong việc vận hành hồ chứa thích ứng với BĐKH, đảm bảo an toàn đập và giảm nguy cơ lũ cho hạ du. Tuy nhiên, cũng cần phải nghiên cứu chi tiết hơn nữa về sự không chắc chắn của kết quả dự báo dòng chảy lũ, xem xét sử dụng phương pháp dự báo tổ hợp, ứng dụng công nghệ hiệu chỉnh lượng mưa tiên tiến [7]. Bên cạnh đó, sai số của kết quả dự báo dòng chảy lũ cũng sẽ được cải thiện khi kết hợp cùng

với phương pháp dự báo lũ theo thời gian thực, vì khi đó các điều kiện về độ ẩm, trạng thái của mặt đệm sẽ liên tục được cập nhật giúp giảm bớt sai số khi tiên đoán điều kiện biên của mô hình dự báo dòng chảy.

LỜI CẢM ƠN

Tác giả chân thành gửi lời cảm ơn đến Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia (NAFOSTED), Bộ Khoa học và Công nghệ đã tài trợ kinh phí thực hiện các hoạt động của nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] WTO (2009). Guidelines on analysis of extreme in a changing climate in support of informed decisions for adaptation.
- [2] IPCC Climate Change (2007). The Physical Science Basis. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA.
- [3] IPCC Climate Change (2007): The Physical Science Basis. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA.
- [4] Ulbrich U., Brucher T., Fink A.H., Leckebusch G.C., Kruger A. & Pinto J.G. (2003). The central European floods of August 2002: part 1 – rainfall periods and flood development. *Weather*, **58**, 371–377.
- [5] Mizuta, R., Yoshimura, H., Murakami, H., Matsueda, M., Endo, H., Ose, T., Kamiguchi, K., Hosaka, M., Sugi, M., Yukimoto, S., Kusunoki, S., Kitoh, A. (2012). Climate simulations using MRI-AGCM3.2 with 20-km grid, *J. Meteorol. Soc. Japan*, 90A, 213–232, doi:10.2151/jmsj.2012-A12.
- [6] Kitoh, A., Ose, T., Kurihara, K., Kusunoki, S. & Sugi, M. (2009). Projection of changes in future weather extremes using super-high-resolution global and regional atmospheric models in the KAKUSHIN Program: Results of preliminary experiments. *Hydrological Research Letter* **3**, 49-53.
- [7] Nam D.H., Udo K. & Mano A. (2013). Short-term inundation prediction using hydrologic-hydraulic models forced with downscaled rainfall from global NWP. *Hydrological Processes*. doi: 10.1002/hyp.10084.
- [8] Nam D.H., Udo K., Mano A. (2012). Inflow forecast using downscaled rainfall from global NWP for real-time flood control. *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Series B1 (Hydraulic Engineering)* **68**(4): I_181–I_186.
- [9] Kato H, Mano A. (2003). Flood runoff model on one kilometer mesh for the Upper Chang Jiang River. In *International conference of GIS and remote sensing in hydrology, water resources and environment*, vol. 1, Chen Y, Takara K, Cluckie ID, De Smedt FH (eds), Three Gorges Dam: China, 16–19 September; 156–163.
- [10] Quân L.N. và Tân P.V. (2011). Dự tính sự biến đổi của một số chỉ số mưa lớn trên lãnh thổ Việt Nam bằng mô hình khí hậu khu vực RegCM3. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **27**, 200-210.
- [11] Kojiri T., Ikebuchi S., Yamada H. (1989): Basinwide flood control system by combining prediction and reservoir operation, *Stochastic Hydrology and Hydraulics*, **3**, 31-49.