

NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN DỰ BÁO BỒI LẮNG HỒ CHỨA - ÁP DỤNG CHO HỒ CHỨA PLEIKRONG

Đỗ Xuân Khánh, Nguyễn Thu Hiền

Trường Đại học Thủy lợi

Tóm tắt: Trong nghiên cứu này, mô hình SWAT và HECRAS đã được áp dụng để nghiên cứu dự báo bồi lắng hồ chứa và áp dụng cho hồ chứa Pleikrong. Kết quả tính toán cho thấy trong những năm đầu khai thác tốc độ bồi lắng lòng hồ đặc biệt lớn và tập trung từ đầu hồ chứa đến vị trí cách hồ 5 km. Theo thời gian bùn cát bồi lắng tăng dần và lan dần về phía đập. Mức độ bồi xói tại các vị trí có sự khác nhau đáng kể. Tính đến 2050, sau 40 năm vận hành vị trí cách đập 5.36 km bị bồi lắng lớn nhất, chiều dày bồi lắng lên đến 14,74m. Trong khi đó, vị trí cách đập 25,61km nơi đáy hồ đặc biệt dốc lòng hồ bị xói nhẹ 0,92m. Phân sát đập gần cửa nhận nước bùn cát bồi lắng thêm 0,74m. Kết quả nghiên cứu có một ý nghĩa thực tiễn trong công tác quản lý bồi lắng hồ chứa và là cơ sở đề xuất một số giải pháp phù hợp để giảm thiểu bồi lắng hồ chứa.

Từ khóa: Bồi lắng hồ chứa, mô hình toán, SWAT, HECRAS.

Summary: In this study, SWAT and HECRAS models were applied to study reservoir sedimentation prediction and applied to Pleikrong reservoir. The results show that at the beginning years of operation, the sedimentation rate was quite high and the sedimentation located mainly from the end of the reservoir to the location of about 5 km from the dam. Year by year, the sedimentation gradually proceeds towards the dam. The degree of sedimentation at different locations are significantly different. By 2050, after 40 years of operation, the location of 5.36 km from the dam has highest sedimentation with the sediment thickness of 14.74m. Meanwhile, at the location of 25.61 km from the dam where the bed slope is very steep, the bed is slightly eroded. At the location near the inlet to the hydropower plant the sediment thickness is 0.75m. The results has a practical significance in reservoir sedimentation management and is the basis for proposing some appropriate solutions to minimize reservoir sedimentation.

Keywords: Reservoir sedimentation, numerical model, SWAT, HECRAS.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vấn đề bồi lắng hồ chứa luôn là một thách thức cho các nhà quản lý đập. Theo Basson [1] tổng dung tích hồ chứa đã xây dựng trên toàn cầu vào khoảng 7000 km³, trong đó 4000 km³ được sử dụng cho phát điện, tưới tiêu và cấp nước. Tuổi thọ trung bình của các hồ chứa hiện nay là khoảng 30-40 năm và được ước tính hàng năm khoảng 0.5-1% dung tích của

hồ chứa trên phạm vi toàn cầu bị suy giảm do bồi lắng [2]. Hiện nay, ở Việt Nam, theo báo cáo về “An ninh nguồn nước phục vụ sản xuất, sinh hoạt và quản lý an toàn hồ, đập” giải trình với Quốc Hội ngày 16/09/2020, cả nước có 7.570 đập trong đó dung tích từ 10 triệu m³ trở lên có 103 hồ, dung tích từ 3 đến 10 triệu m³ có 457 hồ, còn lại là các hồ chứa có dung tích nhỏ hơn 3 triệu m³. Tổng dung tích các hồ chứa đã đưa vào vận hành khai thác hiện nay khoảng 70,5 tỷ m³; trong đó, có 429 đập, hồ chứa thủy điện với tổng dung tích khoảng 56 tỷ m³; 7.169 đập, hồ chứa thủy lợi với tổng

Ngày nhận bài: 17/8/2023

Ngày thông qua phản biện: 15/9/2023

Ngày duyệt đăng: 05/10/2023

dung tích trên 14,5 tỷ m³. Thực tế cho thấy các hồ này sau một thời gian sử dụng đều xuất hiện bồi lắng ở các mức độ khác nhau làm giảm hiệu quả vận hành và tuổi thọ công trình. Các nghiên cứu, khảo sát cho thấy bồi lắng không chỉ tập trung ở phần dung tích chết mà ảnh hưởng đến toàn bộ dung tích của hồ chứa. Vì vậy, bồi lắng hồ chứa làm suy giảm dung tích hữu ích và dung tích phòng lũ, ảnh hưởng đến khả năng phát điện, cấp nước, cắt lũ và gia tăng ảnh hưởng của ngập lụt phía thượng lưu... Tuy nhiên, việc nghiên cứu tính toán bồi lắng hồ chứa vẫn còn rất hạn chế.

Hiện nay ở trên thế giới và Việt Nam có nhiều phương pháp nghiên cứu liên quan đến xói mòn, dòng chảy bùn cát và bồi lắng hồ chứa bao gồm: phương pháp so sánh thể tích, phương pháp cân bằng bùn cát, phương pháp thống kê, phương pháp đồng vị phóng xạ, công thức kinh nghiệm, mô hình toán và mô hình vật lý. Trong đó, để dự báo phân bố bùn cát bồi lắng theo không gian và thời gian thường dùng các phương pháp phương pháp mô hình toán và mô hình vật lý. Tuy nhiên, phương pháp mô hình vật lý có chi phí cao, hạn chế về số phương án tính toán và khả năng dự báo dài hạn. Với công nghệ hiện nay, phương pháp mô hình toán thể hiện tính ưu việt trong tính toán, dự báo bồi lắng theo không gian và thời gian bằng các mô hình toán thủy động lực và vận chuyển bùn cát. Mô hình thủy lực một chiều có thể dùng để tính toán mô phỏng dự báo dài hạn bồi hoặc xói lòng hồ có thể kể đến như [Hainly et al. (1995) [3], Shelley et al. (2015) [4], Nguyễn Kiên Dũng (2015) [5], Trần Kim Châu (2017) [6]...

Các nghiên cứu tính toán bồi lắng trước đây cho thấy, hầu như các nghiên cứu mới chủ yếu xem xét nhiều đến lượng bùn đến hồ từ xói mòn lưu vực hoặc bồi lắng lòng hồ mà chưa xét đến ảnh hưởng của tổng hợp hai yếu tố này. Đặc biệt với các lưu vực không có trạm đo bùn cát ở thượng lưu hồ hoặc khi cần xét đến tác động của BĐKH đến bồi lắng hồ chứa

thì việc kết hợp giữa mô hình thủy văn xói mòn trên lưu vực với các mô hình mô hình thủy lực để mô phỏng bồi lắng hồ chứa. Đây là hướng nghiên cứu tổng hợp kết hợp cả 2 mô hình xói mòn lưu vực và chuyển tải bùn cát trên sông đến hồ. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sẽ nghiên cứu tính toán dự báo ứng dụng kết hợp cả mô hình thủy văn xói mòn lưu vực và mô hình thủy lực vận chuyển bùn cát để nghiên cứu dự báo bồi lắng hồ chứa.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU VÀ CƠ SỞ DỮ LIỆU

2.1. Phương pháp nghiên cứu

SWAT là mô hình thủy văn lưu vực được xây dựng bởi Trung tâm phục vụ nghiên cứu nông nghiệp (Agricultural Research Service) thuộc Bộ Nông nghiệp Hoa Kỳ (United States Department of Agriculture) và Trung tâm nghiên cứu nông nghiệp (Texas A&M AgriLife Research) thuộc Đại học Texas A&M, Hoa Kỳ [7]. Mô hình SWAT được xây dựng dựa trên các dữ liệu đầu vào dạng không gian như bản đồ địa hình, bản đồ sử dụng đất, bản đồ đất. Mô hình SWAT sẽ phân chia lưu vực thành các tiểu lưu vực dựa trên bản đồ cao độ số (DEM) để mô phỏng dòng chảy mặt trên các hệ thống sông nhánh nằm trong các tiểu lưu vực. Các tiểu lưu vực này sau đó sẽ tiếp tục được phân chia thành các loại đơn vị phản ứng thủy văn (HRUs) trong đó đơn vị sẽ có tính chất đồng nhất ở sự kết hợp cùng một hình thức sử dụng đất, loại đất và độ dốc trung bình. Các tham số về khí tượng của mô hình bao gồm mưa, nhiệt độ, tốc độ gió, số giờ nắng. Mô hình SWAT sẽ tính toán dòng chảy mặt và bùn cát ở cấp độ HRU và sau đó sẽ trung bình hóa cho cấp độ tiểu lưu vực và sẽ truyền đến cửa ra lưu vực qua hệ thống dòng chảy.

Mô hình thủy lực HEC-RAS (Hydrological Engineering Centre - River Analysis System) được thiết kế bởi Trung tâm công trình thủy văn của Cục Kỹ thuật Công trình Quân đội Hoa Kỳ (The U.S. Army Corps of Engineers

(USACE). Mô hình được thiết kế nhằm thực hiện các tính toán thủy lực, mô phỏng dòng chảy cho hệ thống các kênh hở, hệ thống sông hay cả lưu vực sông thông qua hệ phương trình Saint – Venant. HEC-RAS cũng có khả năng mô phỏng vận chuyển bùn cát để đánh giá xu thế xói lở, bồi lắng trong lòng dẫn. Trong HEC-RAS, đối với bùn cát lơ lửng, phương trình cơ bản là phương trình đối lưu-khuếch tán dựa trên phương trình bảo toàn khối lượng và hòa tan của bùn cát lơ lửng và được tính toán trên nền bài toán thủy động lực học dòng chảy. Đối với bùn cát đáy, phương trình bảo toàn khối lượng và các công thức kinh nghiệm được sử dụng. Hiện nay, trong mô hình HecRas có 8 công thức kinh nghiệm được sử dụng có thể kể đến là các công thức Engelund & Hansen; Yang; Meyer-Peter & Müller Parker; Wilcock & Crowe... [8].

Hình 1 mô tả sơ đồ tính toán kết hợp giữa mô hình SWAT và mô hình HECRAS trong tính toán dự báo bồi lắng hồ chứa. Kết quả tính toán từ mô hình SWAT (lưu lượng và dòng chảy bùn cát đến hồ) sẽ là biên đầu vào cho mô hình HECRAS để tính toán dòng chảy và vận chuyển bùn cát và diễn biến bồi lắng hồ chứa dọc theo lòng hồ.



Hình 1: Sơ đồ kết hợp giữa mô hình SWAT và mô hình HECRAS

2.2. Lưu vực hồ Pleikrong và cơ sở dữ liệu đầu vào

Hồ thủy điện Pleikrong được xây dựng trên dòng Krông Pô Kô, một phụ lưu cấp 2 của sông Sê San, tại xã Sa Bình huyện Sa Thầy và xã Kroong, thành phố Kon Tum, tỉnh Kon

Tum. Công trình có nhiệm vụ phát điện với công suất 100MW với 2 tổ máy, khởi công tháng 11/2003, hoàn thành tháng 05/2009. Diện tích lưu vực hồ là 3216 km² với lưu lượng trung bình nhiều năm là 128m³/s và lưu lượng lũ thiết kế là 7063,3/s. Hồ có dung tích 1048,7 triệu m³ trong đó dung tích hữu ích là 948 triệu m³ và dung tích chết là 100,7 triệu m³ (tương ứng với mực nước chết là 570m). Diện tích mặt hồ tự nhiên ứng với mực nước dâng bình thường là 53,28 km².

Từ khi đưa vào vận hành đến nay, đơn vị quản lý vận hành hồ - công ty Thủy điện Ialy đã tiến hành 3 chu kỳ đo đạc địa hình lòng hồ (Chu kỳ 1 vào năm 2010, chu kỳ 2 vào năm 2015 và chu kỳ 3 vào năm 2018). Kết quả khảo sát đo đạc cho thấy trong 8 năm tiến hành quan trắc, tổng lượng bùn cát bồi lắng trong hồ là 47 triệu m³, bằng khoảng một nửa dung tích chết của hồ và tại vị trí gần cửa nhận nước cũng đã bị bồi lắng tới xấp xỉ cao trình cửa nhận nước. Vì vậy, cần có những nghiên cứu tính toán dự báo bồi lắng dài hạn để có những giải pháp quản lý bồi lắng nhằm giảm thiểu bồi lắng hồ chứa và hạn chế ảnh hưởng đến công suất phát điện và công tác vận hành hồ.

Để mô phỏng diễn dòng chảy bùn cát cho lưu vực hồ chứa Pleikrong (Hình 2a.) dữ liệu đầu của mô hình SWAT vào bao gồm:

- Bản đồ cao độ số DEM: Dữ liệu địa hình thu thập được dưới dạng bản đồ cao độ số (DEM) có độ phân giải tương đối tốt 30x30m được tải từ trang web USGS (Cục khảo sát địa chất Hoa Kỳ). Bản đồ DEM được sử dụng để phân chia lưu vực và để phân tích dòng chảy mặt. Khu vực nghiên cứu có cao độ lớn nhất là 2589 m và cao độ thấp nhất là 95 m.

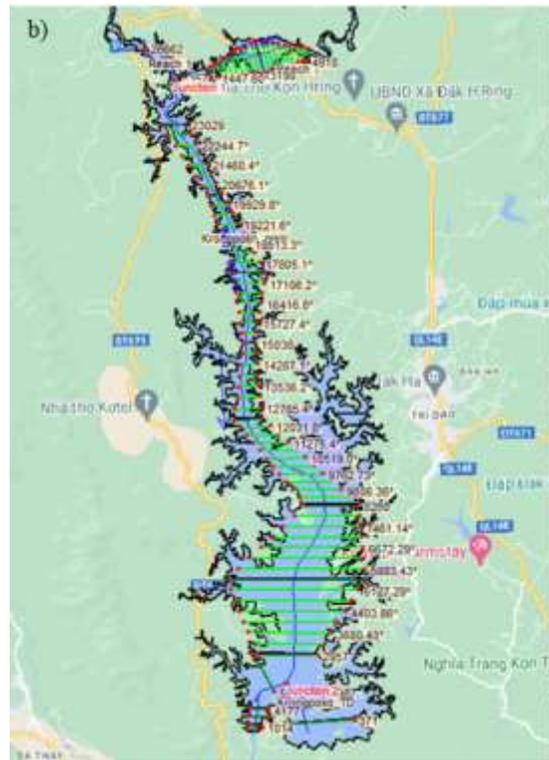
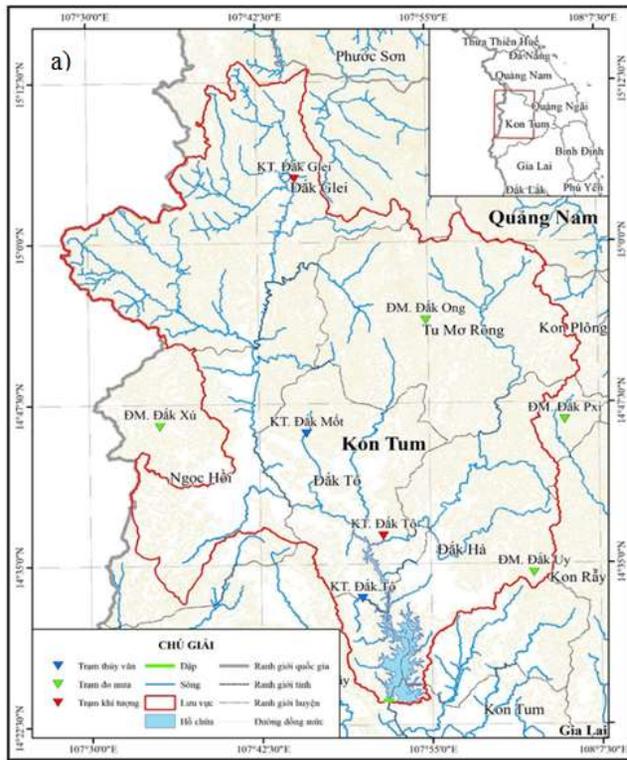
- Bản đồ thổ nhưỡng: Nghiên cứu sử bản đồ đất toàn cầu của FAO (<http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show?id=14116>). Cơ sở dữ liệu này có thể giúp nhận biết những hạn chế của tính chất đất và chế độ nước của một vùng. Từ đó

có thể đánh giá những rủi ro của tình trạng thoái hóa đất, đặc biệt là những nguy cơ xói mòn đất.

- Bản đồ sử dụng đất: Bản đồ sử dụng đất của khu vực nghiên cứu được trích xuất từ bản đồ sử dụng đất của tỉnh KonTum năm 2014 (đất ở 1.97%; đất trồng cây lâu năm 10.51%; Cây

hàng năm 21.00%; Đất rừng 61.24%; Đất sử dụng không mục đích 5.18%; mặt nước 0.10%).

Trên cơ sở đó, khu vực nghiên cứu được phân chia thành 17 tiểu lưu vực (TLV) thông qua bản đồ cao độ số độ phân giải 90m được cung cấp bởi Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).



Hình 2: Sơ đồ lưu vực tính toán cho mô hình SWAT (a) và tính toán bồi lắng lòng hồ Pleikrong trong mô hình HECRAS – 1D (b)

- Các số liệu về khí tượng (mưa, nhiệt độ, độ ẩm, tốc độ gió) theo thời gian, cho đầu vào của mô hình, nghiên cứu sử dụng số liệu mưa ngày được đo tại 5 trạm Đak Glei, Dak Tô, Kon Plông và Sa Thầy. Số liệu nhiệt độ không khí, độ ẩm tương đối và tốc độ gió được đo tại trạm Kon Tum. Các trạm đo này đều có các số liệu liên tục từ năm 1988 đến nay.

Số liệu dòng chảy và bùn cát được lấy tại trạm Trung Nghĩa trong giai đoạn 1991-1997 dùng cho quá trình hiệu chỉnh mô hình. Số liệu dòng chảy đến hồ năm 2010-2018 và tổng lượng bùn cát bồi lắng trong giai đoạn

2010-2018 sẽ được sử dụng cho quá trình kiểm định mô hình.

Trong nghiên cứu này, phương pháp SCS-CN được lựa chọn để tính toán dòng chảy mặt. Phương pháp Penman-Monteith được sử dụng để ước tính lượng bốc thoát hơi tiềm năng PET. theo Allen et al. (1989) đây là phương pháp tốt nhất để tính toán khi có đầy đủ số liệu khí tượng [9]. Phương pháp Muskingum được sử dụng để tính toán lan truyền dòng chảy và phương trình mũ Bagnold được sử dụng để tính vận chuyển bùn cát trên các nhánh sông [10].

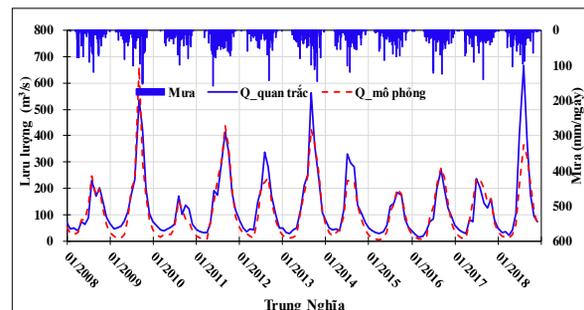
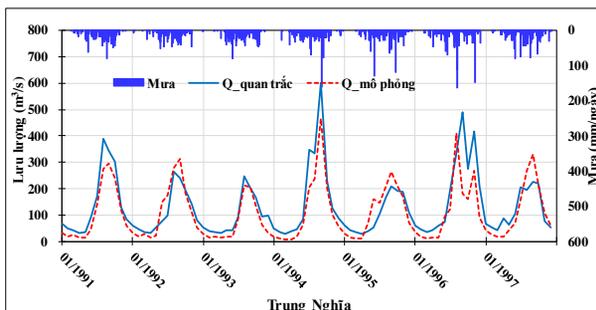
Mô hình thủy lực được xây dựng cho hồ chứa Pleikrong (Hình 2b) với số liệu đo địa hình mặt cắt do Công ty thủy điện Ialy cung cấp trong các đợt đo 2010, 2015 và 2018. Các biên trên và biên dưới của mô hình bao gồm:

- Biên trên được xác định là lưu lượng chảy vào hồ từ nhánh sông Dak Bla, sông Krong Poko. Các biên này được tính toán từ mô hình SWAT.
- Biên dưới là mực nước tại vị trí đập qua nhà máy thủy điện và tại tràn xả lũ.
- Phân bố cấp phối của bùn cát được xác định theo số liệu tỷ lệ thành phần hạt của mẫu bùn cát tổng cộng tương ứng với các cấp lưu lượng tại trạm thủy văn Trung Nghĩa tham khảo của Nguyễn Kiên Dũng (2015) [5] và dựa vào kết quả đo đạc thủy văn bùn cát tại hồ Pleikrong của nhóm nghiên cứu thực hiện vào năm 2022.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Quá trình hiệu chỉnh và kiểm định mô hình có



Hình 3: Hiệu chỉnh và kiểm định dòng chảy SWAT

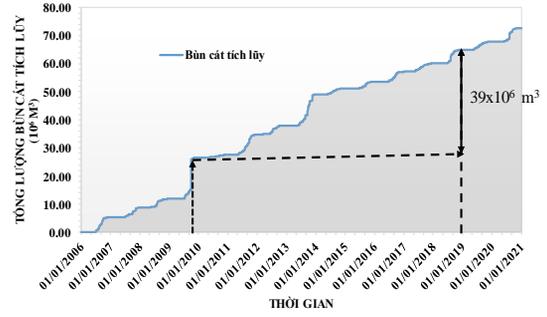
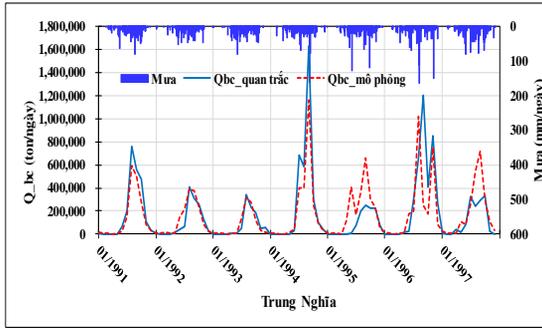
Bên cạnh đó, giá trị NSE trong quá trình hiệu chỉnh và kiểm định lần lượt là 0.71 và 0.84 cũng cho thấy kết quả mô phỏng là rất tốt. Giá trị PBIAS giữa dòng chảy mô phỏng và thực đo lần lượt là 18 và 13% cho quá trình hiệu chỉnh và kiểm định. Đối chiếu với các tiêu chuẩn đánh giá chất lượng của mô hình bởi Moriasi et al. (2007) có thể thấy mô hình SWAT thiết lập cho hồ Pleikrong ở mức tốt khi mô phỏng dòng chảy đến hồ.

Hình 4 thể hiện kết quả hiệu chỉnh dòng chảy

thể thực hiện một cách tự động thông qua mô hình SWAT-CUP hoặc có thể thực hiện thủ công dựa vào kinh nghiệm của người sử dụng. Trong nghiên cứu này, các hệ số bao gồm hệ số Nash (NSE), hệ số tương quan R^2 , hệ số % độ lệch PBIAS sẽ được sử dụng để xác định tương quan giữa giá trị mô phỏng và thực đo để đánh giá chất lượng của mô hình. Mô hình được coi là thỏa mãn nếu giá trị NSE và R^2 lớn hơn 0.6 và $PBIAS = \pm 25\%$ đối với dòng chảy và $PBIAS = \pm 55\%$ đối với dòng chảy bùn cát [11].

Kết quả so sánh dòng chảy mô phỏng bằng mô hình SWAT với số liệu thực đo tại trạm Trung Nghĩa trong giai đoạn hiệu chỉnh (1991-1997) và kiểm định mô hình (2010-2018) được thể hiện tại hình Kết quả cho thấy giá trị lưu lượng đỉnh mô phỏng khá sát với giá trị thực đo. Giá trị hệ số tương quan $R^2 = 0.76$ và 0.85 tương ứng với giai đoạn hiệu chỉnh và kiểm định cho thấy mối quan hệ chặt chẽ giữa giá trị thực đo và mô phỏng cho hầu hết các tháng.

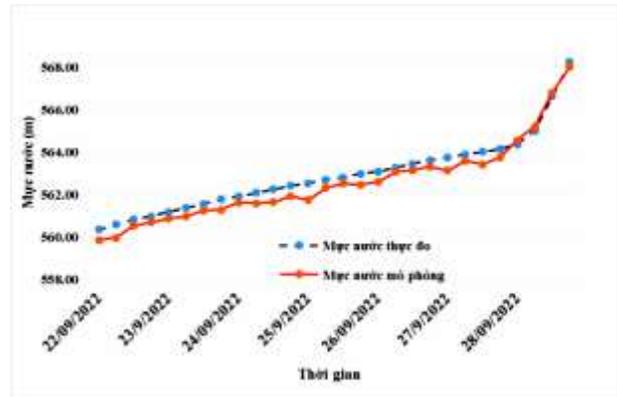
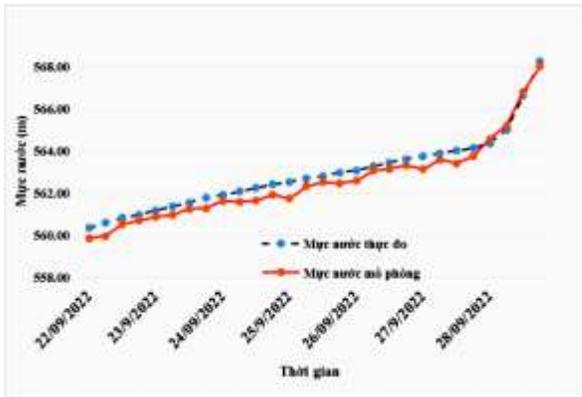
bùn cát tại trạm thủy văn Trung Nghĩa. Giá trị NSE và R^2 trong quá trình hiệu chỉnh lần lượt là 0.65 và 0.66. Kiểm định mô hình được thực hiện bằng việc so sánh tổng lượng bùn cát bồi lắng trong hồ trong giai đoạn 2010 đến 2018 do từ 2010 không còn số liệu đo đạc nồng độ bùn cát tại trạm Trung Nghĩa. Kết quả kiểm định cho thấy tổng lượng bùn cát bồi lắng mô phỏng trong giai đoạn 2010-2018 là xấp xỉ $39 \times 10^6 \text{ m}^3$ thấp hơn 17% so với lượng bùn cát bồi lắng thực đo 47×10^6 khối.



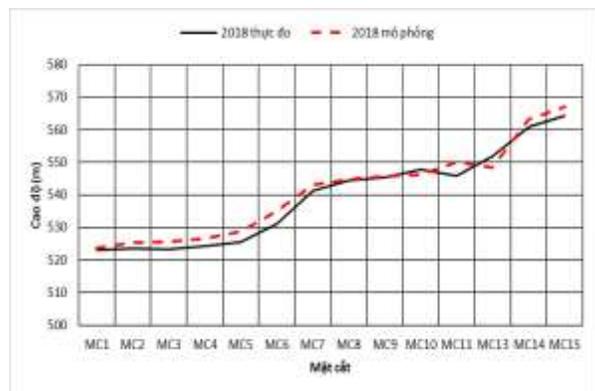
Hình 4: Hiệu chỉnh và kiểm định bùn cát trong mô hình SWAT

Hình 5 là kết quả hiệu chỉnh và kiểm định dòng chảy của mô hình HECRAS. Kết quả cho thấy đường quá trình mực nước thực đo và mô phỏng có tương quan tốt với hệ số Nash= 0.93 và $R^2 = 0.98$ đối với tính toán hiệu chỉnh và hệ số NASH đạt 0.84 và $R^2 = 0.88$ đối với giai đoạn kết quả kiểm định mô hình. Hình 6 thể

hiện kết quả hiệu chỉnh và kiểm định bùn cát của mô hình bằng việc so sánh cao độ đáy hồ tính toán và thực đo dọc theo chiều dài lòng hồ. Kết quả tính toán cho thấy là phù hợp về hình dạng và chênh lệch cao độ không đáng kể trong khoảng từ 0.5-3m.



Hình 5: So sánh đường quá trình mực nước thực đo và mô phỏng trong giai đoạn hiệu chỉnh 22/09/2022 đến 28/9/2022 và kiểm định 27/10/2022 đến 2/11/2022



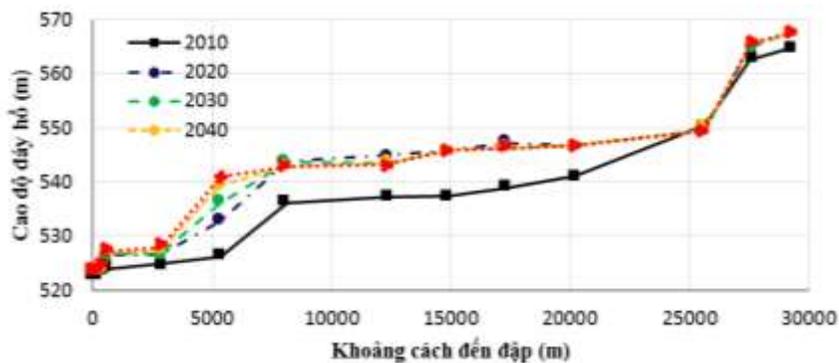
Hình 6: Cao độ đáy hồ thực đo và mô phỏng giai đoạn hiệu chỉnh 2015 và kiểm định mô hình – năm 2018

3.2. Kết quả tính toán dự báo bồi lắng hồ chứa Pleikrong

Sau khi các mô hình đã được hiệu chỉnh và kiểm định cho dòng chảy và bùn cát, nghiên cứu tiến hành mô phỏng dòng chảy bùn cát đến hồ và tính toán dự báo bồi lắng lòng hồ Pleikrong đến năm 2050.

Hình 7 thể hiện kết quả tính toán diễn biến bồi lắng lòng hồ theo thời gian. Kết quả tính toán cho thấy trong 10 năm đầu khai thác tốc độ bồi lắng lòng hồ đặc biệt lớn và tập trung từ đầu hồ chứa đến vị trí cách hồ 5 km. Theo thời gian bùn cát bồi lắng tăng dần và lan dần về phía đập. Mức độ bồi xói tại các vị trí có sự khác nhau có sự khác nhau đáng kể. Vị trí có

cao trình thay đổi nhiều nhất là tại vị trí cách đập 5,36 km. Kể từ khi bắt đầu khai thác đến 2050 cao trình đáy hồ tại vị trí này tăng từ cao trình 536,2 m lên cao trình 540,9 m (chiều dày bị bồi lắng lên đến 14,74m). Trong khi đó, tại vị trí cách đập 25,61 km nơi đáy hồ đặc biệt dốc lòng hồ bị xói nhẹ, sau 40 năm khai thác vị trí này bị xói 0,92m. Phần sát đập gần cửa nhận nước bùn cát bồi lắng thêm 0,74m (từ cao trình 522.69 lên cao trình 523.44m). Các kết quả tính toán cho thấy, theo thời gian, bồi lắng của hồ chứa Pleikrong ảnh hưởng đáng kể đến dung tích hữu ích của hồ chứa. Vì vậy, cần nghiên cứu các giải pháp quản lý bồi lắng phù hợp nhằm giảm thiểu bồi lắng hồ chứa nhằm nâng cao hiệu quả của hồ chứa.



Hình 7: Diễn biến bồi lắng lòng hồ Pleikrong theo thời gian

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, mô hình HECRAS kết hợp với mô hình SWAT đã được áp dụng để nghiên cứu tính toán dự báo bồi lắng hồ chứa. Nghiên cứu đã áp dụng để tính toán dự báo bồi lắng lòng hồ Pleikrong đến năm 2050. Kết quả tính toán dự báo cho thấy trong những năm đầu khai thác tốc độ bồi lắng lòng hồ đặc biệt lớn và tập trung từ đầu hồ chứa đến vị trí cách hồ khoảng 5 km. Theo thời gian bùn cát bồi lắng tăng dần và lan dần về phía đập. Mức độ bồi xói tại các vị trí có sự khác nhau có sự khác nhau đáng kể. Tính đến 2050, vị trí cách đập 5.36 km bị bồi lắng lớn nhất lên đến 14,74m. Phần sát đập gần cửa nhận nước bùn

cát bồi lắng thêm 0,74m. Việc nghiên cứu dự báo bồi lắng lòng hồ có một ý nghĩa thực tiễn quan trọng giúp cho việc quản lý bồi lắng và là cơ sở đề xuất những giải pháp nhằm giảm thiểu bồi lắng hồ chứa và kéo dài tuổi thọ của công trình.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả xin gửi lời cảm ơn đến Đề tài nghị định thư Việt Nam – Hàn Quốc NĐT.87.KR/20 “Nghiên cứu dòng chảy bùn cát đến hồ chứa có xét đến các yếu tố chịu tác động của biến đổi khí hậu - Áp dụng cho một hồ chứa tại Việt Nam” đã tạo điều kiện để nhóm nghiên cứu thực hiện bài báo này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Basson (2009) Sedimentation and Sustainable Use of Reservoirs and River Systems, DRAFT ICOLD BULLETIN, Sedimentation Committee.
- [2] Atkinson, E, 1996. The Feasibility of Flushing Sediment from Reservoirs; Report OD-137; HR Wallingford: Wallingford, UK.
- [3] Hainly, R. A., Reed, L. A., Flippo, H. N., & Barton, G. J. (1995). Deposition and simulation of sediment transport in the Lower Susquehanna River Reservoir System (Water Resour. Invest. Rep. 95-4122, 45 p.). U.S. Geologic Survey
- [4] Shelley. J, Stanford. G., Aaron. W. (2015) Unsteady flow and sediment modeling in a large reservoir using Hec-ras 5.0. HEC RAS user manual
- [5] Nguyễn Kiên Dũng, 2015. Mô hình HEC-6 tính toán bồi lắng và nước dâng hồ chứa Pleikrong. Tạp chí Khí tượng thủy văn, số tháng 01 – 2015.
- [6] Trần Kim Châu (2017). Tính toán bồi lắng hồ chứa của hệ thống thủy điện bậc thang thượng lưu sông Đà, Tạp chí Khí tượng thủy văn, Số 08 -2017.
- [7] Neitsch S., Arnold J., Kiniry J., and Williams J., 2009. “Soil & Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009,” Texas Water Resour. Inst., 1-647
- [8] USACE, 2021. Hec-Ras River system – Version 6.0 –User Manual. Technical Reference Manual, May 2021
- [9] Allen RG, Jensen ME, Wright JL, Burman RD (1989) Operational estimates of reference evapotranspiration. Agron J 81(4):650-662.
- [10] Bagnold R.A. (1977) Bedload transport in natural rivers. Water Resour Res 13:303-312
- [11] Moriasi, D.N.; Arnold, J.G.; Van Liew, M.W.; Bingner, R.L.; Harmel, R.D.; Veith, T.L. (2007) Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Trans. ASABE, 50, 885-900.