



Bài báo khoa học

Nghiên cứu giám sát hoạt động của các hồ chứa trên lưu vực sông Đà ngoài lãnh thổ Việt Nam từ dữ liệu vệ tinh và địa hình trên nền tảng Google Earth Engine

Trần Mạnh Cường^{1*}, Nguyễn Tiền Giang², Trần Anh Phương¹, Nguyễn Anh Đức¹

¹ Viện Khoa học tài nguyên nước, Bộ Tài nguyên và Môi trường; man-

hcuongkt11@gmail.com; phuongtran.monre@gmail.com; nganhduc@yahoo.com;

² Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; giangnt@vnu.edu.vn

*Tác giả liên hệ: manhcuongkt11@gmail.com; Tel.: +84-987986233

Ban Biên tập nhận bài: 15/9/2024; Ngày phản biện xong: 2/10/2024; Ngày đăng bài: 25/2/2025

Tóm tắt: Trong những năm qua, hệ thống các hồ chứa xây dựng trên thượng nguồn sông Đà ngoài lãnh thổ Việt Nam đã làm thay đổi chế đô dòng chảy tư nhiên trên sông, ảnh hưởng đến công tác dự báo, vận hành hồ chứa và quản lý tài nguyên nước trên lưu vực. Do đó việc nghiên cứu hoat đông của các hồ chứa này là nhiêm vu rất cần thiết. Những tiến bô gần đây của công nghệ viễn thám đã cho phép giám sát hoat động của các hồ chứa ngoài lãnh thổ tương đối hiệu quả. Bài báo trình bày một phương pháp hiện đại trong giám sát hồ chứa ngoài lãnh thổ sử dụng kết hợp thuật toán Otsu và công nghệ viễn thám trên nền tảng Google Earth Engine để đánh giá nhanh biến động về diện tích mặt nước, dung tích và mực nước các hồ chứa. Kết quả kiểm chứng với hồ chứa ở Việt Nam cho thấy phương pháp được đề xuất có khả năng giám sát tốt biến động của các hồ chứa. Khi áp dụng cho các hồ chứa ngoài lãnh thổ trên sông Đà trong giai đoạn 2018-2023, nghiên cứu đã xác định được quy luật vận hành cơ bản của các hồ chứa này. Theo đó, các hồ chứa thường tích nước trong khoảng thời gian tháng 7 đến tháng 12 và xả nước trong khoảng thời gian từ tháng 1 đến tháng 6. Kết quả của nghiên cứu này sẽ làm tiền đề quan trong cho việc xác đinh quy trình vân hành các hồ chứa ngoài lãnh thổ và tích hợp các quy trình này vào các mô hình dự báo dòng chảy ngoài lãnh thổ vào Việt Nam.

Từ khóa: Sông Đà; Hồ chứa; Viễn thám; Google Earth Engine; Otsu.

1. Mở đầu

Sông Đà là phụ lưu lớn nhất trong hệ thống sông Hồng, tổng diện tích lưu vực sông Đà là 52.900 km², trong đó phần thuộc lãnh thổ Trung Quốc chiếm khoảng 47%, phần thuộc lãnh thổ Việt Nam khoảng 51% và khoảng 2% thuộc lãnh thổ Lào [1]. Trên dòng chính sông Đà thuộc địa phận Việt Nam, nhiều hồ chứa đã được xây dựng với mục tiêu phát điện, phòng lũ, cấp nước cho hạ du [2], hàng năm cung cấp sản lượng điện lớn và có vai trò quan trọng đối với an ninh năng lượng và an ninh nguồn nước quốc gia. Hiện nay, phần lưu vực sông Đà thuộc Trung Quốc có sáu hồ thủy điện lớn trên dòng chính gồm Yayangshan, Shimenkan, Longma, Jufudu, Gelantan, Tukahe. Từ khi các hồ chứa này đi vào hoạt động, dòng chảy sông Đà về Việt Nam có nhiều thay đổi, đã có sự phân phối lại dòng chảy mùa ở hạ lưu sông [3]. Các hồ chứa thượng nguồn sông Đà làm tăng dòng chảy vào mùa khô và giảm dòng chảy vào mùa mưa, và cả năm. Cụ thể, tại trạm Lai Châu, vào mùa khô dòng chảy tăng từ 22,74% (giai đoạn 1961-2006, trước khi có các hồ chứa Trung Quốc) lên 29,34% (giai đoạn 2007-2014, sau khi có các hồ chứa Trung Quốc) [4]. Trong bối cảnh số liệu vận hành các hồ chứa này chưa được chia sẻ cho Việt Nam [1], việc vận hành các hồ chứa đã gây ra những khó

khăn rất lớn cho công tác dự báo, quản lý tài nguyên nước. Do đó, việc giám sát diễn biến hồ chứa Trung Quốc ngoài lãnh thổ trên thượng nguồn sông Đà sử dụng các công nghệ giám sát gián tiếp là rất cần thiết, phục vụ cung cấp thông tin, góp phần nâng cao chất lượng dự báo và quản lý tài nguyên nước trên sông Đà nói riệng và sông Hồng nói chung.

Trong những năm gần đây, với sự phát triển của công nghệ xử lý ảnh và sự gia tăng của các nguồn ảnh viễn thám mở với độ phân giải không gian, thời gian ngày càng cao, việc giám sát hoat đông của các hồ chứa ngoài lãnh thổ từ viễn thám ngày càng trở nên khả thi. Trong các nghiên cứu sử dụng công nghệ viễn thám để giám sát hồ chứa, phương pháp giám sát thông qua biến động diện tích mặt nước hồ là phương pháp được áp dụng rộng rãi nhất. Phương pháp này cho phép xác định diện tích mặt nước hồ chứa từ giải đoán ảnh viễn thám. Sau đó, các đặc trưng mực nước và dung tích hồ sẽ được xác đinh dựa vào các đường quan hê đặc tính hồ mực nước - diên tích mặt nước và dung tích - diên tích mặt nước [5, 6]. Các đường đặc tính này thường có sẵn với các hồ chứa trong nước [7]. Tuy nhiên, với các hồ chứa ngoài lãnh thổ, các đường này thường phải được xây dựng từ mô hình số đô cao (DEM) [8-11] hoặc từ số liêu đo đạc mực nước hồ và diên tích mặt nước [12]. Phương pháp sử dụng số liệu đo đạc mực nước và diện tích mặt nước đòi hỏi các dữ liệu được thu nhận tại các thời điểm giống nhau mới đảm bảo độ chính xác trong mối quan hệ giữa các thông số hồ chứa. Trong bối cảnh đó, việc sử dụng dữ liệu DEM địa hình của hồ chứa để xây dựng quan hệ giữa các thông số mực nước, diên tích mặt nước, dung tích hồ là giải pháp được nhiều nghiên cứu sử dụng [13, 14]. Chẳng hạn, nghiên cứu [15] sử dụng DEM từ nguồn SRTM để xây dựng môi quan hệ diện tích mặt nước - cao độ mặt nước - dung tích hồ để ước tính sự thay đổi lưu trữ nước của các hồ chứa trên khu vực tiểu vùng Mê Công mở rông. Nghiên cứu [16] đã sử dụng ảnh vệ tinh Sentinel 1 cùng với mô hình số độ cao để ước tính lượng nước được giữ lai trong các hồ. Dư án giám sát đập trên sông Mê Công của trung tâm Stimson [10] dùng dữ liệu vệ tinh Sentinel 1 để xác định diện tích mặt nước, kết hợp sử dụng DEM cùng nền tảng xử lý đám mây Google Earth Engine (GEE) để giám sát biến động hồ chứa. Nghiên cứu [17] đề xuất một phương pháp kết hợp việc sử dụng DEM và hình ảnh Landsat với GEE để giám sát các số liệu hồ chứa gồm diện tích bề mặt, mực nước và dung tích hữu ích. Trong nước, các nghiên cứu cũng được thực hiện để giám sát dung tích hồ chứa. Nghiên cứu [18] tính toán mực nước và dung tích hồ từ ảnh vệ tinh tuy nhiên cần phải tải và xử lý từng cảnh ảnh. Nghiên cứu [19] kết hợp ảnh vệ tinh radar và vệ tinh quang học để xác định mặt nước hồ chứa, tuy nhiên các dữ liệu vệ tinh này có độ phân giải khác nhau sẽ dẫn đến không đồng nhật, việc xác định ngưỡng thủ công cho nhiều cảnh ảnh sẽ tốn nhiều thời gian.

Nghiên cứu này tiến hành nghiên cứu các hồ chứa thương nguồn sông Đà bên ngoài lãnh thổ trong những năm gần đây để xem xét tác động của các hồ này đến chế độ thủy văn phía hạ lưu thuộc Việt Nam. Bài báo sử dụng thuật toán Otsu, cho phép tự động tìm ra giá trị ngưỡng linh hoat để phân tách mặt nước theo từng điều kiên cảnh ảnh khác nhau. Khi nghiên cứu với lượng lớn các cảnh ảnh vệ tinh, so với phương pháp phân tích sử dụng ngưỡng cố định, nhìn chung thuật toán Otsu cho kết quả xác định diện tích mặt nước hồ chính xác hơn [20, 21]. Đồng thời, để giảm ảnh hưởng của mây, nghiên cứu cũng sử dụng ảnh vệ tinh Sentinel 1, là loại vệ tinh radar nhằm cung cấp nhiều dữ liệu ảnh vệ tinh hơn và do đó giúp cung cấp thông tin về hồ chứa liên tục. Cuối cùng, để tăng hiệu suất xử lý, toàn bô dữ liêu vê tinh được thực hiện tính toán trên nền tảng GEE với các công cụ mạnh mẽ trong xử lý ảnh viễn thám, phân tích không gian và khả năng tính toán vượt trội trên máy chủ của Google, thuật toán Otsu cũng được lập trình tính toán trong GEE. Nền tảng GEE giúp việc xử lý, giải đoán nhiều cảnh ảnh được thực hiện cùng lúc, nhanh chóng mà không cần tải về từng ảnh với độ tin cậy cao [22, 23]. Nhờ xây dựng trên nền tảng, việc giám sát hồ chứa có thể được thực hiện theo gần thời gian thực, phục vụ cung cấp kịp thời hiện trạng các hồ chứa. Đây là hướng nghiên cứu đang được nghiên cứu rộng rãi trên thế giới nhưng còn tương đối mới ở Việt Nam về ứng dụng công nghệ viễn thám trong giám sát hồ chứa ngoài lãnh thổ.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Bài báo tiến hành nghiên cứu các hồ chứa đã được xây dựng và vận hành trên thượng nguồn sông Đà bên ngoài lãnh thổ Việt Nam, gồm: Yayangshan, Shimenkan, Longma, Jufudu, Gelantan, Tukahe, trong giai đoạn 2018-2023, nhằm xác định tác động gần nhất của các hồ chứa bên ngoài lãnh thổ đến hạ lưu sông Đà. Vị trí và các thông tin cơ bản về các hồ chứa này được trình bày ở Bảng 1 và Hình 1.



Hình 1. Các hồ chứa nghiên cứu trên thượng lưu sông Đà bên ngoài lãnh thổ Việt Nam.

Hồ chứa	Năm xây dựng - Năm vận hành	Dung tích hồ (triệu m ³)	Chiều cao đập (m)	
Yayangshan	2003 - 2006	247	88	
Shimenkan	2007 - 2010	197	116	
Longma	2003 - 2007	590	135	
Jufudu	2004 - 2008	174	95	
Gelantan	2003 - 2008	409	113	
Tukahe	2003 - 2008	88	59,2	

Bảng 1. Thông tin chính của các hồ chứa nghiên cứu.

2.2. Dữ liệu nghiên cứu

- Ảnh vệ tinh: Dữ liệu vệ tinh Sentinel 1 SAR GRD với độ phân giải 10 m được thu thập trong giai đoạn 2018-2023 từ Cơ quan Hàng không vũ trụ Châu Âu.

- Mô hình số độ cao: Bài báo sử dụng dữ liệu DEM là NASADEM với độ phân giải 30 m để mô phỏng địa hình các hồ chứa, đây là dữ liệu có độ tin cậy cao khi được cải thiện bằng cách kết hợp dữ liệu phụ trợ từ các bộ dữ liệu ASTER GDEM, ICESat GLAS và PRISM. Dữ liệu được thu thập từ Cơ quan hàng không vũ trụ Mỹ NASA.

Dữ liệu	Năm thu thập	Số cảnh ảnh	Độ phân giải	Nguồn dữ liệu
	2018	143	10 m	ESA
	2019	139		
	2020	156		
Sentinel I SAR GRD	2021	147		
	2022	135		
	2023	134		
NASADEM	2000		30 m	NASA

Bảng 2. Dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu.

2.3. Phương pháp nghiên cứu



Hình 2. Sơ đồ các bước xác định các đặc trưng hồ chứa bao gồm diện tích mặt nước, mực nước và dung tích hồ chứa từ ảnh viễn thám trên công cụ GEE.

Sơ đồ các bước xác định các đặc trưng hồ chứa bao gồm diện tích mặt nước, mực nước và dung tích hồ chứa từ ảnh viễn thám trên công cụ GEE được trình bày ở Hình 2. Các bước này được mô tả cụ thể như sau:

- Xử lý ảnh viễn thám: Tất cả các cảnh ảnh dữ liệu vệ tinh Sentinel 1 được truy cập trên công cụ GEE mà không cần tải từng cảnh ảnh về máy tính. Các ngọn núi có thể cản trở đường đi của chùm tia radar, các khu vực có thảm phủ bề mặt phức tạp, hay các thung lũng, vách núi độ dốc lớn làm cho dữ liệu radar phản hồi không chính xác [24], do vậy các cảnh ảnh vệ tinh được xử lý loại bỏ nhiễu, bóng, các ảnh kém chất lượng bị loại bỏ nhằm giảm sai số. Các công việc này đều được thực hiện sử dụng các công cụ có sẵn trên GEE (Hình 3).



Hình 3. Xử lý nhiễu và bóng trên cảnh ảnh Sentinel 1 bằng công cụ GEE.

- Phân tách đối tượng nước từ ảnh viễn thám: Mặt nước trên ảnh vệ tinh radar được xác định từ ngưỡng phân loại, dựa theo loại sóng VV của Sentinel 1, giá trị sóng tán xạ ngược khi gặp mặt nước luôn thấp hơn các đối tượng khác [25]. Như vậy những điểm ảnh có giá trị thấp hơn ngưỡng được xác định là mặt nước, giá trị cụ thể được xác định phụ thuộc vào từng khu vực địa lý nhất định. Khi xác định mặt nước trên nhiều cảnh ảnh vệ tinh được thu thập tại các thời điểm khác nhau thì việc sử dụng một giá trị ngưỡng duy nhất là không phù hợp. Nhiều nghiên cứu trên thế giới hiên nay đã ứng dung thuật toán Otsu để tư đông xác đinh ngưỡng cho từng cảnh ảnh. Phương pháp của Otsu giúp xác định ngưỡng cho từng cảnh ảnh bằng cách chuyển đổi hình ảnh kỹ thuật số thành các điểm ảnh được đặc trưng bằng màu thuộc thang độ xám (từ mức xám tối thiểu đến mức xám tối đa) [26]. Dựa vào một giá trị t được gọi là ngưỡng, hình ảnh được tạo thành hai phần gồm tiền cảnh (điểm ảnh gần với mức xám tối thiểu) và hậu cảnh (điểm ảnh gần với mức xám tối đa) [26]. Tỷ lệ các điểm tiền cảnh trong hình ảnh là w0 và độ chuyển màu xám trung bình là u0; tỷ lệ các điểm hậu cảnh trong hình ảnh là w1 và đô chuyển màu xám trung bình là u1, khi t làm cho biểu thức w0*w1*(u0u1) đạt giá trị lớn nhất thì t là ngưỡng phân đoạn tối ưu [26]. Thay vì phải lựa chọn ngưỡng cho mỗi cảnh ảnh thì thuật toán Otsu tự động lựa chọn ngưỡng tối ưu từ hình ảnh thang màu xám để tối đa hóa sự khác biệt giữa các lớp, từ đó xác định những vùng điểm ảnh là mặt nước [27]. Thuật toán Otsu được xây dựng trong GEE bằng nhiều hàm như ee. Array, ee. Dictionary để tìm giá trị tối đa hóa phương sai giữa các lớp. Diện tích mặt nước là tổng diện tích tất cả các điểm ảnh đã được xác định, quá trình phân tách mặt nước bằng thuật toán Otsu và tính diện tích mặt nước đều được thực hiện bằng công cụ GEE.



Hình 4. Vùng mặt nước (màu xanh) được xác định bằng thuật toán Otsu xây dựng trong GEE.

- Xây dựng các đường đặc tính hồ chứa: Đường đặc tính của hồ chứa gồm mực nước diện tích mặt nước (Z ~ F) và mực nước - dung tích hồ (Z ~ W) được xác định từ dữ liệu DEM. Tại mỗi giá trị mực nước sẽ xác định một phần mặt phẳng bị giới hạn bởi DEM, diện tích phần mặt phẳng này chính là diện tích mặt nước tại giá trị mực nước đã chọn. Phần thể tích bị giới hạn bởi DEM và phần mặt phẳng trên chính là dung tích hồ tại giá trị mực nước đã chọn.



Hình 5. Xác định phạm vi tính toán của hồ trên DEM: (a) dữ liệu NASADEM, (b) khoanh vùng hồ trên DEM.

Phần dung tích giữa hai mặt nước liền kề được tính gần đúng bằng thể tích hình chóp cụt (công thức 1), dung tích nước của hồ chứa là tổng thể tích các hình chóp cụt trên (công thức 2).

$$\Delta W_{i+1} = W_{i+1} - W_i = \frac{F_{i+1} + F_i}{2} \times (Z_{i+1} - Z_i)$$
(1)

$$W = \sum_{i=0}^{n} \frac{F_{i+1} + F_{i}}{2} \times (Z_{i+1} - Z_{i})$$
(2)

Trong đó F_{i} , F_{i+1} (m²) lần lượt là diện tích mặt nước hồ tại mực nước Z_{i} , Z_{i+1} ; W_{i} , W_{i+1} (m³) lần lượt là diện tích mặt nước hồ tại mực nước Z_{i} , Z_{i+1} ; ΔW_{i+1} là dung tích giữa F_{i} , F_{i+1} .

Từ dữ liệu NASADEM, tại mỗi giá trị mực nước tính toán được diện tích mặt nước và dung tích hồ tương ứng, tập hợp nhiều giá trị tính toán để có đường đặc tính $Z \sim F, Z \sim W$.

- Xác định diện tích mặt nước, mực nước và dung tích hồ chứa: Với mỗi giá trị diện tích mặt nước hồ chứa trích xuất từ ảnh vệ tinh, nghiên cứu sẽ xác định được diện tích mặt nước. Sau đó, sử dụng các đường đặc tính hồ chứa, mực nước và dung tích hồ chứa có thể xác định.

3. Kết quả

3.1. Tính toán thử nghiệm cho hồ chứa ở Việt Nam

Để đánh giá độ tin cậy của phương pháp đề xuất, nghiên cứu tiến hành tính toán thử nghiệm với hồ chứa cũng nằm trên sông Đà là Lai Châu với chuỗi số liệu viễn thám trong giai đoạn 2016-2022. Sau khi loại bỏ nhiễu và bóng trên các cảnh ảnh vệ tinh Sentinel 1, mặt nước hồ tại mỗi cảnh ảnh được xác định như Hình 6. Diễn biến diện tích mặt nước xác định từ ảnh viễn thám giai đoạn 2016-2022 và quan hệ giữa mực nước - diện tích mặt nước xác định từ mô hình số độ cao DEM được trình bày ở Hình 7.



Hình 6. Ảnh vệ tinh Sentinel 1 khu vực hồ Lai Châu (a), mặt nước hồ Lai Châu (b).



Hình 7. Diễn biến diện tích mặt nước hồ tính toán từ dữ liệu Sentinel 1 (a) và mối quan hệ mực nước - diện tích mặt nước hồ Lai Châu (b).

Mối quan hệ mực nước - diện tích mặt nước xây dựng từ DEM của hồ Lai Châu được so sánh với đường đặc tính thực tế thông qua các chỉ số đánh giá gồm hệ số tương quan (CC), hệ số xác định (R²), độ thiên lệch (PBIAS), căn bậc hai sai số toàn phương (RMSE), tỉ số của RMSE và độ lệch chuẩn của số liệu đo đạc (RSR). Bảng 3 cho thấy có sự tương đồng giữa hai dữ liệu đường đặc tính này, quan hệ mực nước - diện tích mặt nước xây dựng từ DEM đảm bảo độ tin cậy để áp dụng tính toán mực nước từ diện tích mặt nước.

Bảng 3. So sánh diện tích mặt nước của đường đặc tính xây dựng từ DEM và đường đặc tính thực tế.

Hồ chứa	CC	\mathbb{R}^2	PBIAS	RMSE	RSR
Lai Châu	0,99	0,98	6,74	2,99	0,27

Hình 8 so sánh mực nước tính toán của hồ Lai Châu tính từ diện tích mặt nước dựa trên mối quan hệ mực nước - diện tích mặt nước đã xây dựng và mực nước thực đo trong giai đoạn 2016-2022. Kết quả so sánh giữa mực nước tính toán và thực đo cũng sử dụng các chỉ số đánh giá bao gồm hệ số tương quan (CC), hệ số xác định (R²), độ thiên lệch (PBIAS), căn bậc hai sai số toàn phương (RMSE), tỉ số của RMSE và độ lệch chuẩn của số liệu đo đạc (RSR) được trình bày ở Bảng 4. Kết quả tính toán cho thấy nhìn chung diễn biến mực nước tính toán bằng công nghệ viễn thám tương quan rất tốt với mực nước thực đo với hệ số tương quan là 0,87. Điều này chứng tỏ công nghệ viễn thám có thể giám sát tốt biến động của các hồ chứa. Về giá trị tuyệt đối, hồ Lai Châu sai số xuất hiện ở cả phần mực nước thấp và mực nước cao. Sai số tuyệt đối có thể gây ra do hai nguyên nhân chính bao gồm sai số trong việc xác định diện tích mặt nước từ ảnh viễn thám (gây ra bởi các sai số do chất lượng ảnh, do ngưỡng phân tách nước, độ phân giải 30 m có thể chưa đủ để xây dựng quan hệ mực nước diện tích mặt nước hoàn toàn chính xác).



Hình 8. So sánh mực nước tính toán và mực nước thực đo hồ Lai Châu.

Bảng 4. Tương quan giữa mực nước tính toán và mực nước thực đo của hồ Lai Châu.

Hồ chứa	СС	R ²	Pbias	RMSE	RSR
Lai Châu	0,87	0,76	-1,87	6,40	1,06

3.2. Tính toán diễn biến hồ chứa thượng lưu sông Đà

Các hồ chứa thượng nguồn sông Đà bên ngoài lãnh thổ Việt Nam có nhiều điểm tương đồng với hồ Lai Châu từ đặc điểm địa hình đến quá trình hình thành hồ. Đường đặc tính hồ chứa thể hiện mối quan hệ mực nước - diện tích mặt nước - dung tích tính toán trên GEE như Hình 9. Diễn biến diện tích mặt nước các hồ thay đổi theo thời gian được giám sát bằng công nghệ viễn thám thể hiện như Hình 10. Từ đường đặc tính hồ chứa và diễn biến diện tích mặt nước các hồ nghiên cứu giai đoạn 2018-2023 (Hình 11). Từ đường đặc tính hồ chứa và mực nước hồ tính toán diễn biến dung tích các hồ nghiên cứu giai đoạn 2018-2023 (Hình 12). Kết quả tính toán cho thấy các hồ trên thượng lưu sông Đà trong giai đoạn 2018-2023 có xu hướng tích nước trong khoảng thời gian tháng 6 - tháng 12, các

hồ thượng nguồn gồm Yayangshan, Shimenkan tích nước muộn hơn so với các hồ hạ nguồn gồm Longma, Jufudu, Gelantan, Takuhe. Cụ thể, các hồ Yayangshan, Shimenkan thường tích nước trong thời gian tháng 8 - tháng 9, trong khi các hồ Longma, Jufudu, Gelantan, Takuhe thường tích nước trong thời gian tháng 6 - tháng 8.

Các hồ thường đạt lượng nước lớn nhất vào tháng 11, 12, một vài hồ trong một vài năm thì sớm hơn (tháng 10) hoặc muộn hơn (tháng 1 năm kế tiếp). Hồ Yayangshan, hồ đầu tiên tính từ thượng nguồn xuống, thường tích nước sớm nhất, vào các năm 2020, 2021, 2022, 2023 hồ đạt lượng nước lớn nhất tháng 10, sớm hơn các hồ hạ nguồn. Hồ Shimenkan chủ yếu đạt lượng nước lớn nhất thời điểm tháng 11, vào các năm 2020, 2021, 2022, 2023. Tương tự, hồ Longma cũng chủ yếu đạt lượng nước lớn nhất thời điểm tháng 11, vào các năm 2020, 2021, 2022, 2023. Tương tự, hồ Jufudu, Gelantan đạt lượng nước lớn nhất muộn hơn so với các hồ trên, tại thời điểm cuối tháng 11, đầu tháng 12. Hồ Tukahe, hồ cuối cùng trong chuỗi hồ, đạt lượng nước lớn nhất vào cuối tháng 11, tháng 12. Kết quả này cho thấy, nhìn chung các hồ thường tích đầy nước lần lượt từ thượng nguồn đến hạ nguồn, hồ Yayangshan tích đầy nước trước, tiếp đến là các hồ Shimenkan, Longma, sau đó đến các hồ Jufudu, Gelantan, và cuối cùng là hồ Tukahe.

Các hồ có xu hướng xả nước trong khoảng thời gian tháng 1 - tháng 5, trong đó chủ yếu là tháng 1 - tháng 4. Các hồ thượng nguồn gồm Yayangshan, Shimenkan, Longma xả nước sớm hơn so với các hồ hạ nguồn gồm Jufudu, Gelantan, Tukahe. Cụ thể, các hồ Yayangshan, Shimenkan, Longma thường xả nước trong thời gian tháng 1 - tháng 4, còn các hồ Jufudu, Gelantan, Tukahe thường xả nước trong thời gian tháng 3 - đầu tháng 5. Một số năm, các hồ thực hiện quy trình xả nước trong thời gian ngắn, tích nước trở lại, sau đó bắt đầu xả nước đến khi lượng nước trong hồ đạt mức thấp nhất. Các hồ chứa thường đạt lượng nước nhỏ nhất vào các tháng 5, 6, 7, 8. Hồ Yayangshan, Shimenkan đạt mức nước thấp nhất vào tháng 7, 8; trong khi hồ Longma, Jufudu đạt mức nước thấp nhất vào tháng 6, 7; và hồ Gelantan, Takuhe đạt mức nước thấp nhất vào cuối tháng 5 đến đầu tháng 7.



Hình 9. Đường đặc tính các hồ nghiên cứu: a) Hồ Yayangshan, b) Hồ Shimenkan, c) Hồ Longma, d) Hồ Jufudu, e) Hồ Gelantan, f) Hồ Tukahe.



Hình 10. Diễn biến diện tích mặt nước hồ chứa giai đoạn 2018 - 2023: a) Hồ Yayangshan, b) Hồ Shimenkan, c) Hồ Longma, d) Hồ Jufudu, e) Hồ Gelantan, f) Hồ Tukahe.



Hình 11. Diễn biến mực nước hồ chứa giai đoạn 2018 - 2023: a) Hồ Yayangshan, b) Hồ Shimenkan,
c) Hồ Longma, d) Hồ Jufudu, e) Hồ Gelantan, f) Hồ Tukahe.



Hình 12. Diễn biến dung tích hồ chứa giai đoạn 2018 - 2023: a) Hồ Yayangshan, b) Hồ Shimenkan, c) Hồ Longma, d) Hồ Jufudu, e) Hồ Gelantan, f) Hồ Tukahe.

4. Thảo luận

Vào thời điểm mùa mưa, lượng nước về hồ nhiều, các hồ thủy điện bắt đầu tích nước để đảm bảo phát điện cho mùa khô kế tiếp. Hầu hết các hồ đều bắt đầu tích nước từ tháng 7 hoặc 8 đến tháng 10, 11 đầy hồ. Các hồ xả nước phát điện, cấp nước từ tháng 1, 2 cho đến hết tháng 6. Thực tế, diễn biến tích nước và xả nước tại mỗi hồ sẽ có sự sai khác giữa các năm tuy nhiên chỉ chênh lệch trong khoảng gian ngắn, quá trình tích và xả nước cũng có thể đan xen nhau tùy thời điểm và tùy tiểu lưu vực nhưng số liệu tính toán cho thấy có xu thế chung trong diễn biến tích nước của các hồ thủy điện như đã nêu ở trên. Các hồ thượng nguồn có xu hướng tích nước muộn nhưng đạt mực nước lớn nhất sớm hơn so với các hồ hạ nguồn, các hồ thượng nguồn cũng xả nước sớm hơn nhưng đạt mực nước thấp nhất muộn hơn các hồ hạ nguồn. Điều này phụ thuộc nhiều vào lượng nước đến trong mùa mưa cũng như kế hoạch phát điện trong mùa khô của mỗi hồ, vai trò của từng hồ trong chuỗi bậc thang hồ chứa.

Dữ liệu mô hình số độ cao NASADEM có độ phân giải 30 m, chưa phải là dữ liệu có độ phân giải cao và với đặc điểm này có thể gây ra sai số nhất định, tuy nhiên trong số các dữ liệu mô hình số độ cao được cung cấp miễn phí hiện nay bao phủ toàn bộ khu vực nghiên cứu thì NASADEM là dữ liệu phù hợp cho nghiên cứu này. Ngoài ra, dữ liệu NASADEM đã được hiệu chỉnh từ các bộ dữ liệu ASTER GDEM, ICESat GLAS và PRISM, giúp nâng cao độ chính xác so với các dữ liệu mô hình số độ cao khác. Độ phân giải của dữ liệu Sentinel 1 là 10 m dẫn đến mặt nước xác định bằng ảnh vệ tinh có sự sai khác với mặt nước thực tế, quá trình tính toán sẽ có những sai số nhất định, tuy vậy đây là dữ liệu miễn phí được sử dụng phổ biến trong nhiều nghiên cứu trên thế giới, trong các nghiên cứu cơ bản thì dữ liệu này vẫn có sự đóng góp quan trọng. Một số cảnh ảnh vệ tinh Sentinel 1 có chất lượng không tốt, thể hiện các thông tin bề mặt đất không đúng với thực tế, khiến cho kết quả giải đoán có sự sai số. Tuy nhiên điều này chỉ diễn ra tại một khoảng thời gian ngắn và chỉ tại một vài hồ,

trong khi dữ liệu nghiên cứu cho toàn bộ sáu hồ trong giai đoạn 2018 - 2023 là rất lớn, vì vậy kết quả nghiên cứu vẫn đảm bảo độ tin cậy.

5. Kết luận

Phương pháp giám sát liên tục lượng nước trữ trong các hồ bằng công nghệ viễn thám dựa trên thuật toán tự động phân ngưỡng mặt nước Otsu và công cụ phân tích không gian địa lý GEE trong nghiên cứu này đạt kết quả tốt khi thử nghiệm cho hồ chứa ở Việt Nam. Phương pháp này hoàn toàn có thể áp dụng để tính toán các thông số mực nước, diện tích mặt nước, dung tích cho nhiều hồ chứa khác, ngay cả với các hồ chứa không có số liệu bên ngoài lãnh thổ của một quốc gia.

Kết quả tính toán diễn biến các thông số mực nước, diện tích mặt nước, dung tích cho thấy quy luật chung của các hồ chứa trên thượng lưu sông Đà bên ngoài lãnh thổ Việt Nam. Các hồ chứa này thường có xu hướng tích nước trong khoảng thời gian tháng 7 - tháng 12, và xả nước trong khoảng thời gian tháng 1 - tháng 6. Như vậy sau khi các hồ chứa thượng nguồn vận hành, vào mùa khô tổng lượng dòng chảy sông Đà về Việt Nam sẽ tăng lên do các hồ chứa xả nước, vào mùa mưa tổng lượng giảm do các hồ chứa tích nước. Các hồ chứa trên sông Đà thuộc lãnh thổ Việt Nam sẽ bị tác động đáng kể khi diễn biến dòng chảy đến thay đổi so với trước đây, do đó cần có các kế hoạch chủ động trong quá trình vận hành hồ chứa. Các số liệu về diễn biến tích trữ nước các hồ chứa thượng nguồn sông Đà là tài liệu bổ sung quan trọng để nghiên cứu về chế độ dòng chảy về Việt Nam trong những năm gần đây.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.T.G., T.A.P.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: T.M.C., T.A.P., N.T.G.; Xử lý số liệu: T.M.C.; Viết bản thảo bài báo: T.M.C., T.A.P.; Chỉnh sửa bài báo: T.M.C., T.A.P., N.A.Đ.

Lời cảm ơn: Chúng tôi xin cảm ơn các đề tài "Nghiên cứu đánh giá tác động của hệ thống hồ chứa và sử dụng đất ngoài lãnh thổ Việt Nam trên lưu vực sông Đà ảnh hưởng đến biến đổi dòng chảy và hàm lượng phù sa bùn cát vào Việt Nam" - Mã số TNMT.2023.02.30 và "Nghiên cứu xây dựng phương pháp, công nghệ dự báo dòng chảy mùa cạn, thời hạn 10 ngày, tháng, mùa đến biên giới Việt - Trung" - Mã số ĐTĐL.CN.06/23 đã hỗ trợ để thực hiện nghiên cứu này.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây, không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

- Anh, V.T.; Hiền, N.T.; Khánh, Đ.Q. Nghiên cứu đánh giá lượng dòng chảy sông Đà từ Trung Quốc vào Việt Nam phục vụ cho bài toán quy hoạch và quản lý tài nguyên nước lưu vực sông Đà. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* 2017, 678, 54–62.
- Ngô, L.A.; Trịnh, T.P. Nghiên cứu khả năng ứng dụng mô hình thủy văn thông số phân bố tính toán dòng chảy lũ lưu vực sông Đà. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lọi và Môi trường* 2010, *30*, 115–120.
- Khối, H.V.; Huệ, V.T.M. Phân tích ảnh hưởng của các hồ chứa thượng nguồn trên địa phận Trung Quốc đến dòng chảy hạ lưu sông Đà, sông Thao. *Tạp chí Khoa học Thủy lợi và Môi trường* 2012, *38(09)*, 3–8.
- 4. Linh, B.H.; Phương, T.A. Đánh giá ảnh hưởng của các hồ chứa đến dòng chảy trên sông Đà. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, *731*, 97–107.
- 5. Duan, Z.; Bastiaanssen, W.G.M. Estimating water volume variations in lakes and reservoirs from four operational satellite altimetry databases and satellite imagery data. *Remote Sens. Environ.* **2013**, *134*, 403–416.

- 6. Nguyen, N.T.; Du, T.L.T., Park, H.; Chang, C.H., Choi, S.; Chae, H.; Lee, H. Estimating the impacts of ungauged reservoirs using publicly available streamflow simulations and satellite remote sensing. *Remote Sens.* **2023**, *15*(*18*), 4563.
- 7. Condeça, J.; Nascimento, J.; Barreiras, N. Monitoring the storage volume of water reservoirs using Google Earth Engine. *Water Resour. Res.* **2022**, *58(3)*, e2021WR030026.
- 8. Gourgouletis, N.; Bariamis, G.; Anagnostou, M. N.; Baltas, E. Estimating reservoir storage variations by combining Sentinel-2 and 3 measurements in the Yliki Reservoir, Greece. *Remote Sens.* **2022**, *14*(8), 1860.
- 9. Ghanbari, R.; Tayfehrostami, A.; Forouzanfar, M.; Tashakori, M. Using optical satellite images and satellite altimetry data to estimate volume variations in dams. *IS*-*PRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* **2024**, *48*, 189–196.
- Eyler, B.; Basist, A.; Carr, A.; Williams, C. Mekong dam monitor: Methods and processes. 2020. Avaliable online: https://www.stimson.org/2020/mekong-dam-monitor-methods-and-processes/.
- Avisse, N.; Tilmant, A.; Müller, M.F.; Zhang, H. Monitoring small reservoirs' storage with satellite remote sensing in inaccessible areas. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2017, 21(12), 6445–6459.
- 12. Zhang, S.; Gao, H.; Naz, B.S. Monitoring reservoir storage in South Asia from multisatellite remote sensing. *Water Resour. Res.* **2014**, *50*(*11*), 8927–8943.
- 13. Ouma, Y.O. Evaluation of multiresolution digital elevation model (DEM) from realtime kinematic GPS and ancillary data for reservoir storage capacity estimation. *J. Hydrol.* **2016**, *3*(2), 16.
- 14. Cao, S.; You, R.; Li, X.; Jia, J.; Wang, J.; Liu, Y. A novel approach for estimating the capacity of ungauged small reservoirs using remote sensing and DEM. *Hydrol. Res.* **2022**, *53*(7), 1001–1016.
- Du, T.L.; Lee, H.; Bui, D.D.; Graham, L.P.; Darby, S.D.; Pechlivanidis, I.G.; Hwang, E. Streamflow prediction in highly regulated, transboundary watersheds using multibasin modeling and remote sensing imagery. *Water Resour. Res.* 2022, 58(3), e2021WR031191.
- Amitrano, D.; Martino, G.D.; Iodice, A.; Mitidieri, F.; Papa, M.N.; Riccio, D.; Ruello, G. Sentinel-1 for monitoring reservoirs: A performance analysis. *Remote Sens.* 2014, 6(11), 10676–10693.
- 17. Valadão, L. V., Cicerelli, R. E., de Almeida, T., Ma, J. B. C., & Garnier, J. Reservoir metrics estimated by remote sensors based on the Google Earth Engine platform. *Remote Sens. Appl.: Soc. Environ.* **2021**, *24*, 100652.
- Hoàng, T.T.; Nguyễn, H.S.; Nguyễn, Q.K.; Nguyễn, L.B. Tính toán mực nước và dung tích hồ chứa từ ảnh vệ tinh. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* 2020, 71, 116-123.
- Hùng, Đ.X.; Thành, H.T.; Lân, H.T.; Tuấn, N.V. Ứng dụng công nghệ viễn thám xây dựng, kiểm đếm nguồn nước cho các hồ chứa Việt Nam. *Tạp chí Khoa học và Công* nghệ Thủy lợi **2021**, 68, 1–8.
- 20. Goh, T.Y.; Basah, S.N.; Yazid, H.; Safar, M.J.A.; Saad, F.S.A. Performance analysis of image thresholding: Otsu technique. *Meas.: Sens.* **2018**, *114*, 298–307.
- Tran, K.H.; Menenti, M.; Jia, L. Surface water mapping and flood monitoring in the Mekong Delta using sentinel-1 SAR time series and Otsu threshold. *Remote Sens.* 2022, 14(22), 5721.
- 22. Gorelick, N.; Hancher, M.; Dixon, M.; Ilyushchenko, S.; Thau, D.; Moore, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sens. Environ.* **2017**, *202*, 18–27.

- 23. Tamiminia, H.; Salehi, B.; Mahdianpari, M.; Quackenbush, L.; Adeli, S.; Brisco, B. Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* **2020**, *164*, 152–170.
- 24. Jiang, H.; Wang, M.; Hu, H.; Xu, J. Evaluating the performance of Sentinel-1A and Sentinel-2 in small waterbody mapping over urban and mountainous regions. *Water J.* **2021**, *13*(7), 945.
- 25. Carreño Conde, F.; De Mata, M.M. Flood monitoring based on the study of Sentinel-1 SAR images: The Ebro River case study. *Water J.* **2019**, *11*(*12*), 2454.
- 26. Liu, Y. Study on automatic threshold selection algorithm of sensor images. *Physics Procedia*. **2012**, *25*, 1769–1775.
- Donchyts, G.; Schellekens, J.; Winsemius, H.; Eisemann, E.; Van de Giesen, N. A 30 m resolution surface water mask including estimation of positional and thematic differences using landsat 8, srtm and openstreetmap: a case study in the Murray-Darling Basin, Australia. *Remote Sens.* 2016, 8(5), 386.

Application of the Otsu algorithm on the Google Earth Engine platform for monitoring the operation of reservoirs in the Da river basin outside Vietnam from satellite imagery

Tran Manh Cuong^{1*}, Nguyen Tien Giang², Tran Anh Phuong¹, Nguyen Anh Duc¹

¹ Water Resources Institute, Ministry of Natural Resources Invironment;

manhcuongkt11@gmail.com; phuongtran.monre@gmail.com; nganhduc@yahoo.com;

² VNU University of Science, Vietnam National University, Hanoi; giangnt@vnu.edu.vn

Abstract: In recent years, the system of reservoirs constructed upstream of the Da River, located outside Vietnam's territory, has significantly altered the natural flow regime of the river, impacting forecasting, reservoir operation, and water resource management in the basin. Therefore, studying the operation of these reservoirs is essential. Recent advances in remote sensing technology have enabled relatively effective monitoring of these external reservoirs. This paper presents a modern method for monitoring reservoirs located outside the territory using a combination of the Otsu algorithm and remote sensing technology on the Google Earth Engine platform to rapidly assess changes in water surface area, capacity, and water levels. Validation results from two reservoirs in Vietnam have demonstrated that the proposed method is capable of effectively monitoring changes in reservoir conditions. When applied to the reservoirs located outside the territory on the Da River from 2018 to 2023, the study identified the fundamental operational patterns of these reservoirs. Specifically, the reservoirs typically accumulate water from July to December and release water from January to June. The findings of this study will serve as an important foundation for determining the operational processes of these reservoirs located outside the territory and integrating these processes into flow forecasting models for transboundary inflows into Vietnam.

Keywords: Da river; Reservoir; Remote sensing; Google Earth Engine; Otsu.