

Ước tính dung tích hồ chứa thủy điện Sông Tranh 2 sử dụng dữ liệu Sentinel

Estimate the storage capacity of Song Tranh 2 hydropower reservoir using Sentinel data

> **NGUYỄN CÔNG GIANG¹, ĐẶNG VŨ KHẮC^{2,*}, LÊ TUẤN CẢNH²**

¹Khoa Xây dựng, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội; Email: giangnc@hau.edu.vn

²Khoa Địa lý, Trường Đại học Sư phạm Hà Nội; Email: khacdvt@hnue.edu.vn, letuancanh302@gmail.com

TÓM TẮT

Bên cạnh vai trò cung cấp nước để phát điện cho hệ thống năng lượng quốc gia, hồ chứa thủy điện còn đảm bảo hài hòa các lợi ích về kinh tế, xã hội và môi trường. Tuy nhiên, tình trạng biến đổi khí hậu làm lượng nước trong các hồ chứa thủy điện bị phụ thuộc vào diễn biến của các hiện tượng thời tiết cực đoan - lúc bị khô cạn, lúc lại bị dâng cao. Vì vậy việc theo dõi dung tích nước hồ chứa để đảm bảo an ninh nguồn nước và an toàn đập, hồ chứa trở nên cấp bách hơn bao giờ hết. Với ảnh vệ tinh Sentinel 1, số liệu đo cao trình mực nước và mô hình số độ cao (DEM), nghiên cứu đã ước tính chính xác dung tích của hồ thủy điện Sông Tranh 2 (Quảng Nam). Kết quả cho thấy dung tích nước hồ đạt 692.1 km³ tương ứng với cao trình mực nước đo đạc thực tế 172.45 m vào ngày 28/5/2022 khi chụp ảnh vệ tinh radar Sentinel 1. Việc kiểm chứng với dung tích nước quan trắc (691.2 km³) cho thấy sai số đạt dưới 2%. Nghiên cứu này là tiền đề cho phép sử dụng các nguồn dữ liệu viễn thám trong theo dõi, giám sát diễn biến mực nước tại các hồ chứa nói chung và hồ thủy điện nói riêng. Từ đó mang lại khả năng dự báo để đưa ra chiến lược sử dụng nguồn nước và sản xuất năng lượng điện phù hợp tại hồ thủy điện Sông Tranh 2.

Từ khóa: Hồ chứa; dung tích; DEM; Sentinel; Sông Tranh 2.

ABSTRACT

Besides the role of providing water to produce electricity for the national power system, hydroelectric reservoirs also ensure the harmony of economic, social and environmental benefits. However, climate change and prolonged heat waves have caused hydroelectric reservoirs to dry up. Therefore, monitoring the storage capacity of reservoir to serve water resource management has become more urgent than ever. The use of Sentinel 1 satellite images, water level data and digital elevation model (DEM) has allowed to accurately estimate the storage capacity of Song Tranh 2 hydroelectric reservoir (Quang Nam). The results show that the water capacity reached 692.1 km³ corresponding to the water level of 172.45 m on May 28, 2022 when radar image was taken. Validation with actual observed capacity (691.2 km³) shows that the error is less than 2%. This study contributes to demonstrate the ability to use remote sensing data in monitoring water level in reservoirs. From there, it allows forecasting to make appropriate strategies for using water resources and producing electrical energy at Song Tranh 2 hydroelectric reservoir.

Keywords: Reservoir; volume; DEM; Sentinel; Song Tranh 2.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các hồ chứa nước chiếm diện tích khá nhỏ trên lục địa (khoảng 3.7%) nhưng có vai trò hết sức to lớn trong vòng tuần hoàn nước cũng như các hoạt động kinh tế-xã hội của con người [1]. Hồ chứa thủy điện ngày càng tác động mạnh mẽ đến lưu lượng dòng chảy của sông vì chúng có thể thay đổi chế độ thủy văn của dòng chảy thông qua lưu giữ hoặc xả nước. Ngoài vai trò chính là cung cấp nguồn nước cho các nhà máy thủy điện hoạt động, hồ chứa thủy điện còn được sử dụng trong nhiều ngành kinh tế như du lịch, nông nghiệp và thủy sản.

Trước những sức ép về tài nguyên nước mặt do biến đổi khí hậu gây ra, việc giám sát hiện trạng của các hồ chứa, đặc biệt là hồ chứa thủy điện ngày càng quan trọng hơn bao giờ hết. Bên

cạnh những hồ chứa lớn có thể dễ dàng theo dõi và giám sát với nguồn dữ liệu quan trắc có sẵn thì việc đo đạc, theo dõi những hồ có diện tích nhỏ, nằm ở những khu vực địa lý khó khăn vẫn còn là thách thức lớn với nhiều quốc gia đang phát triển, trong đó có Việt Nam.

Hiện nay, tồn tại nhiều phương pháp được áp dụng để giám sát tài nguyên nước mặt. Trong đó, phương pháp đo mực nước và thể tích hồ trực tiếp đang được sử dụng phổ biến tại các quốc gia đang phát triển. Phương pháp này mặc dù có mức độ chính xác cao nhưng đòi hỏi kinh phí tương đối lớn và phải di chuyển đến khu vực nghiên cứu để thực hiện các đo đạc cần thiết. Điều này gặp nhiều trở ngại khi khu vực nghiên cứu được tiến hành tại nhiều hồ cách xa nhau hoặc bên ngoài lãnh thổ quốc gia.

Sự đóng góp của dữ liệu viễn thám và dữ liệu không gian địa lý được xem là một bước phát triển mạnh trong giám sát tài nguyên nước mặt và thu hút được nhiều sự quan tâm trong những thập kỷ vừa qua. Vào năm 2011, cơ quan Nông nghiệp Nước ngoài (FAS) của Bộ Nông nghiệp Hoa Kỳ (USDA) với sự hợp tác của Trung tâm Không gian Goddard (GSFC) của cơ quan Hàng không và Vũ trụ Quốc gia (NASA) và Đại học Maryland (UMD) đã ghi lại sự thay đổi độ cao mặt nước của khoảng 70 hồ và hồ chứa trên toàn thế giới bằng cách sử dụng kết hợp các bộ dữ liệu đo độ cao của radar vệ tinh [2]. Peng và cộng sự năm 2006 đã trình bày phương pháp dựa trên dữ liệu viễn thám cung cấp thông tin tốt hơn, hữu ích hơn trong việc vận hành và quản lý hồ chứa so với phương pháp truyền thống. Nghiên cứu được tiến hành tại hồ chứa Fengman (Trung Quốc) sử dụng dữ liệu Landsat. So với dữ liệu quan trắc, sai số của đường đặc tính lòng hồ (Z~V) sử dụng ảnh vệ tinh nhỏ hơn phương pháp truyền thống [3]. Tim Busker và cộng sự sử dụng bộ dữ liệu tài nguyên nước mặt toàn cầu (GSW) đã được xử lý trước của Trung tâm nghiên cứu chung (JRC) với độ phân giải lớn kết hợp với ảnh Landsat để ước tính sự biến đổi thể tích trên toàn cầu từ năm 1984 trở đi. Nghiên cứu đã cho thấy có thể áp dụng dữ liệu viễn thám để theo dõi tài nguyên nước mặt trên phạm vi rộng lớn trong một giai đoạn nhất định [4]. Tại Việt Nam, Nguyễn Quốc Hiệp và cộng sự đã giới thiệu một phương pháp để xác định đường cong Z-F-W phi tuyến của hồ chứa bằng cách sử dụng ảnh radar Sentinel-1. Với phương pháp này, việc xác định các đường cong Z-F-W của hồ chứa tại địa bàn tỉnh Hà Tĩnh đã được cải thiện đáng kể [5]. Nguyễn Lương Bằng và cộng sự cũng đã ứng dụng ảnh vệ tinh Sentinel trong giám sát mực nước và dung tích hồ chứa thuộc lưu vực sông Mê Kông. Nghiên cứu đã cho thấy đường quá trình mực nước, dung tích hồ giữa ước tính và quan trắc phù hợp với nhau. Tương quan giữa dung tích nước hồ ước tính và quan trắc đạt trên 0,98 cho thấy hiệu quả của dữ liệu viễn thám trong việc tiếp cận dữ liệu tài nguyên nước mặt nằm ngoài lãnh thổ Việt Nam [6].

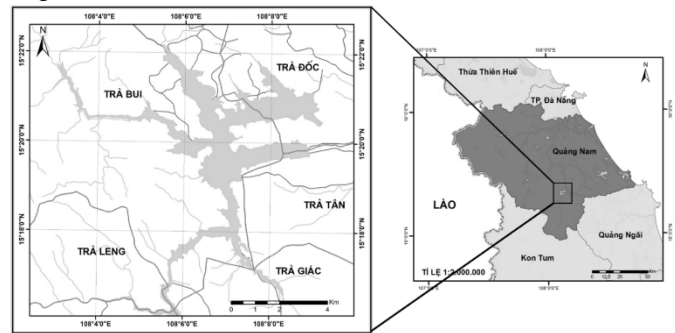
Hồ thủy điện Sông Tranh 2 là một trong những hồ chứa đóng vai trò quan trọng trong cung cấp năng lượng cho tỉnh Quảng Nam và khu vực lân cận. Tuy nhiên, ngay từ khi hồ chứa tích nước đến nay, khu vực đã xảy ra rất nhiều vụ động đất với cường độ chủ yếu dưới 5 độ richter. Chỉ tính từ năm 2011 đến năm 2015, trong bán kính gần 100 km xung quanh khu vực đập đã ghi nhận khoảng 1200 cơn địa chấn với cường độ trên dưới 1 độ richter, cá biệt có tới 6 đợt đạt cường độ từ 4,0 - 4,7 độ richter. Điều này đã gây ảnh hưởng đến đời sống của người dân trong khu vực [7]. Hồ thủy điện Sông Tranh 2 nằm trên hai hệ thống đứt gãy lớn là đới đứt gãy Trà Bồng và đới đứt gãy Hưng Nhượng-Tà Vi [8]. Một trong những nguyên nhân quan trọng gây ra hiện tượng trên là do quá trình tích nước của hồ chứa thủy điện Sông Tranh 2 đã làm thay đổi cấu trúc địa chất-địa tầng trong khu vực. Cho đến nay, vẫn chưa có nghiên cứu nào đánh giá sự thay đổi của dung tích nước của hồ thủy điện Sông Tranh 2 ở các mực nước và thời gian khác nhau. Chính vì vậy việc ước tính chính xác dung tích nước của hồ thủy điện Sông Tranh 2 trở nên rất cần thiết. Một số nghiên cứu trước đây đã từng ứng dụng viễn thám và GIS để tính toán dung tích hồ chứa này thông qua diện tích mặt nước và độ cao mực nước. Tuy nhiên, kết quả đem lại có độ chính xác chưa cao so với thực tế. Xuất phát từ những lợi thế của dữ liệu viễn thám radar, nghiên cứu này mong muốn đánh giá khả năng sử dụng ảnh Sentinel 1 kết hợp với dữ liệu mô hình số địa hình và dữ liệu quan trắc để ước tính dung tích nước của hồ thủy điện Sông Tranh 2 (Quảng Nam). Nghiên cứu hy vọng góp phần chứng minh vai trò quan trọng của dữ liệu viễn thám và dữ liệu không gian địa lý trong việc cải thiện mức độ chính xác khi ước

tính dung tích hồ chứa để từ đó nâng cao hiệu quả công tác quản lý và giám sát tài nguyên nước mặt hiện nay.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1 Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu là hồ thủy điện Sông Tranh 2 thuộc hệ thống sông Thu Bồn - Vu Gia, huyện Bắc Trà My, tỉnh Quảng Nam. Nơi đây có hai mùa: mùa mưa kéo dài từ tháng 10 đến tháng 12, mùa khô kéo dài từ tháng 2 đến tháng 8. Độ ẩm trung bình đạt khoảng 84%. Lượng mưa trung bình năm của vùng dao động từ 2000-2500 mm/năm. Huyện Bắc Trà My là một trong những nơi có lượng mưa trung bình năm lớn nhất Việt Nam với hơn 4000 mm/năm và lượng mưa thường tập trung trong thời gian ngắn trên một địa hình hẹp, dốc đã tạo điều kiện thuận lợi cho lũ các sông dâng lên nhanh.



Hình 1. Vị trí địa lý của khu vực nghiên cứu

Bảng 1. Thông tin khái quát về khu vực nghiên cứu (Flv - diện tích mặt nước tại cao trình thiết kế, Wtc - dung tích hữu ích thiết kế)

Tên hồ	Địa điểm	Tọa độ		Thông số cơ bản	
		Vĩ độ	Kinh độ	Flv (km ²)	Wtc (Km ³)
Sông Tranh 2	Bắc Trà My - Quảng Nam	15°19'	108°06'	21.52	729.2

Trước khi xây dựng công trình thủy điện Sông Tranh 2, khu vực này xảy ra khoảng 8 trận động đất có độ mạnh từ 2.1 đến 4.8 độ Richter. Sau khi hoàn thành và bắt đầu cho tích nước đến nay, Viện Vật lý Địa cầu ghi nhận hàng trăm trận động đất xảy ra ở khu vực xung quanh khu vực hồ chứa. Điều này cho thấy quá trình tích trữ nước và vận hành hồ chứa có liên quan tới các hoạt động địa chấn tại khu vực nghiên cứu. Vì vậy việc theo dõi chính xác dung tích nước của hồ chứa có ý nghĩa vô cùng quan trọng trong việc đảm bảo sự bền vững của hồ đập và sự an toàn của cư dân phía dưới hạ lưu.

2.2 Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.2.1 Dữ liệu sử dụng

* Ảnh Sentinel 1

Vệ tinh Sentinel 1 cung cấp ảnh radar với độ phân giải 10 m. Do ít bị ảnh hưởng bởi thời tiết và rất nhạy cảm với bề mặt nước, ảnh vệ tinh Sentinel-1 là nguồn dữ liệu quan trọng phục vụ nghiên cứu nhờ tiết kiệm chi phí và đem lại hiệu quả. Trên lãnh thổ Việt Nam, cứ 6 ngày sẽ có một ảnh Sentinel 1 do 2 vệ tinh Sentinel 1 (A và B) bay lệch nhau 180° trên cùng quỹ đạo. Từ những ưu điểm này, ảnh Sentinel 1 được sử dụng để xác định phạm vi hồ chứa. Dữ liệu ảnh radar Sentinel 1 được chụp vào ngày 28/5/2022, tải về từ cơ sở dữ liệu mở của cơ quan Vũ trụ châu Âu (ESA). Bên cạnh ảnh Sentinel 1 nêu trên, một ảnh Sentinel 1 khác chụp vào ngày 23/8/2023 cũng được khai thác với phương pháp xử lý và tính toán tương tự nhằm kiểm chứng sự phù hợp và độ tin cậy của kết quả thu được so với dữ liệu quan trắc trên mặt đất.

* Ảnh Sentinel 2

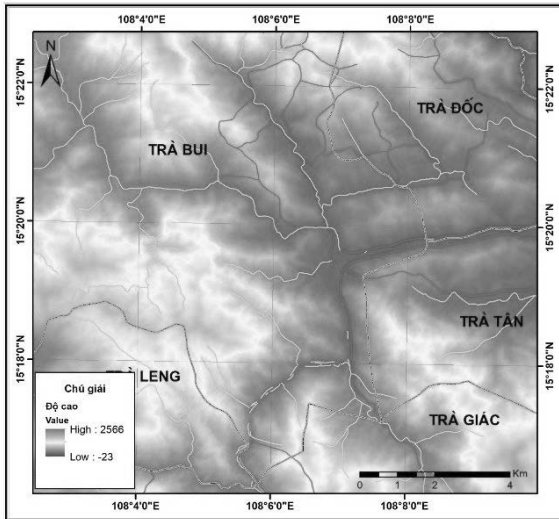
Ảnh Sentinel-2A chụp ngày 01/6/2022, lúc tỉnh Quảng Nam đang bước vào mùa khô. Mặc dù cảnh ảnh bị mây che phủ một phần, nhưng khu vực nghiên cứu không bị ảnh hưởng nên góp phần đảm bảo kết quả tính toán được chính xác. Thời gian ảnh Sentinel 2 này chụp gần với thời điểm chụp ảnh Sentinel 1 (28/5/2022) để giảm thiểu sự thay đổi về dung tích nước nhằm phục vụ việc kiểm chứng phạm vi mặt nước xác định từ dữ liệu ảnh Sentinel 1.

Bảng 2. Dữ liệu Sentinel được dùng trong nghiên cứu

STT	Tên ảnh	Loại ảnh	Độ phân giải	Thời gian thu chụp
1	Sentinel-1	Radar	~10 m	28/5/2022
2	Sentinel-1	Radar	~10 m	23/8/2023
3	Sentinel-2	Quang học	10 m	01/6/2022

** Dữ liệu mô hình số độ cao*

Số liệu mô hình số độ cao với độ phân giải 12.5 m của khu vực hồ thủy điện Sông Tranh 2 được xây dựng từ ảnh vệ tinh ALOS PALSAR thu chụp năm 2009. Đây là thời điểm hồ thủy điện Sông Tranh 2 chưa tích nước, bề mặt đáy hồ lộ ra giúp cho việc ước tính dung tích hồ chứa.



Hình 2. Mô hình số địa hình khu vực thủy điện Sông Tranh 2 trước khi tích nước năm 2009

** Dữ liệu thủy văn hồ chứa thủy điện Sông Tranh 2*

Để kiểm chứng dung tích nước ước tính, nghiên cứu đã sử dụng số liệu quan trắc cao trình mặt nước hồ chứa và dung tích hồ cùng thời điểm chụp ảnh vệ tinh (23/8/2023) do Tổng cục Thủy lợi, Bộ NN&PTNT cung cấp tại trang web <http://thuyloivietnam.vn>.

2.2.2 Phương pháp nghiên cứu

** Tính dung tích nước hồ chứa*

Có hai cách tiếp cận chính sau đây: (a) tính dung tích hữu ích của hồ chứa dựa vào công thức hình chóp cụt [5], (b) tính dung tích hồ chứa dựa vào cao trình mực nước và mô hình số độ cao (DEM) [6].

Đối với cách tiếp cận đầu tiên, dung tích hồ chứa được giới hạn từ mực nước chết (Z_0) tới mực nước hữu ích (Z_i) và được xác định dựa trên chuỗi dữ liệu quan hệ giữa cao trình mực nước và diện tích bề mặt hồ. Nó được tính bằng công thức hình chóp cụt như sau [3]:

$$W_i = \sum_{i=0}^n \frac{(Z_{i+1} - Z_i)}{3} (F_i + F_{i+1} + \sqrt{F_i F_{i+1}}) \quad (1)$$

Trong đó:

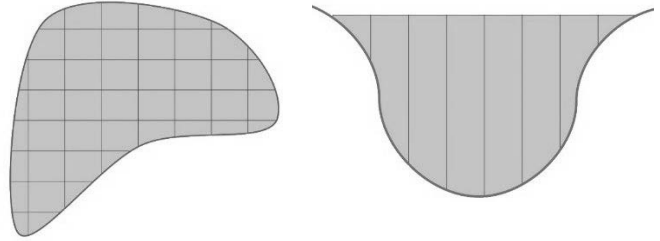
W_i : Dung tích hồ chứa tại thời điểm i

Z_i : Cao trình mực nước tại thời điểm i

F_i : Diện tích mặt hồ tại thời điểm i

Cách tiếp cận thứ nhất cần xác định diện tích hồ chứa (F) tại các thời điểm khác nhau bằng ảnh vệ tinh và thu thập dữ liệu cao trình mực nước tại các thời điểm tương ứng với thời gian chụp ảnh. Cách tiếp cận này chỉ tính được dung tích hữu ích do bị giới hạn bởi mực nước hữu ích. Chính vì vậy, phần dung tích dưới mực nước hữu ích sẽ bị bỏ qua dẫn đến sai số.

Cách tiếp cận thứ hai dựa vào cao trình mực nước và mô hình số độ cao thể hiện bề mặt địa hình trước khi diễn ra quá trình tích nước của hồ chứa. Dung tích hồ chứa tương đương với tổng dung tích của các cột nước hình trụ do các pixel của DEM tạo nên bề mặt địa hình đáy của hồ chứa (Hình 3).



Hình 3. Minh họa cấu tạo của hồ chứa từ các pixel: (a) Mặt cắt ngang, (b) Mặt cắt dọc
Dung tích của mỗi cột nước sẽ được tính theo công thức (2):

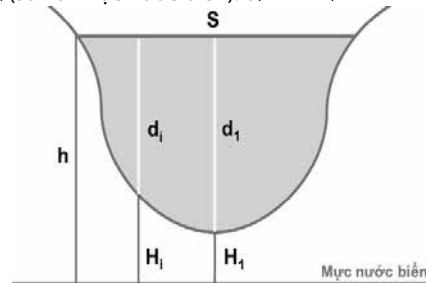
$$W_i = d_i \times R^2 \quad (2)$$

Trong đó:

- W_i là dung tích của cột nước thứ i

- R là kích thước pixel của dữ liệu DEM (12.5 m)

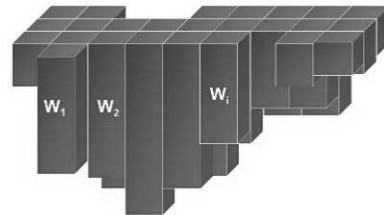
- d_i là cao trình mực nước hay chiều cao của từng cột nước tương ứng với độ sâu (so với đáy) tại vị trí bất kỳ và tính bằng chênh lệch giữa h và H_i (so với mực nước biển): $d_i = h - H_i$



Hình 4. Minh họa các tham số tính dung tích cột nước

Dung tích hồ chứa sẽ được tính bằng tổng dung tích của các cột nước (3):

$$W = \sum_{i=1}^n W_i \quad (3)$$

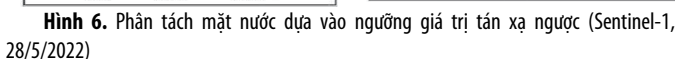


Hình 5. Minh họa công thức tính tổng dung tích hồ chứa từ các cột nước thành phần

Tuy nhiên trong tiếp cận này, cao trình mực nước thay đổi theo thời gian và qua đó làm thay đổi giới hạn của bề mặt địa hình được sử dụng khi tính toán sự thay đổi của độ sâu mực nước. Chính vì vậy cần xác định mặt hồ để làm cơ sở khoanh vi giới hạn địa hình bề mặt đáy hồ tương ứng với thời điểm chụp ảnh vệ tinh.

** Xác định phạm vi mặt nước*

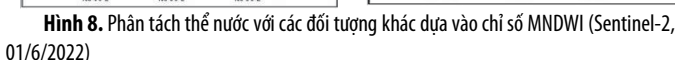
Ảnh Sentinel 1 (28/5/2022) được sử dụng để xác định phạm vi mặt hồ dựa vào giá trị tán xạ ngược của kênh ảnh phân cực VH. Giá trị tán xạ ngược của nước dao động từ -27 đến -20. Sử dụng dải giá trị này làm ngưỡng để tách nước ra khỏi các đối tượng khác.



Các bước xác định phạm vi và dung tích hồ chứa thủy điện Sông Tranh 2 dựa vào dữ liệu ảnh vệ tinh kết hợp với mô hình số độ cao DEM và cao trình mặt nước được thể hiện trong Hình 7 sau:



3.1 Xác định phạm vi mắt hồ Sông Tranh 2

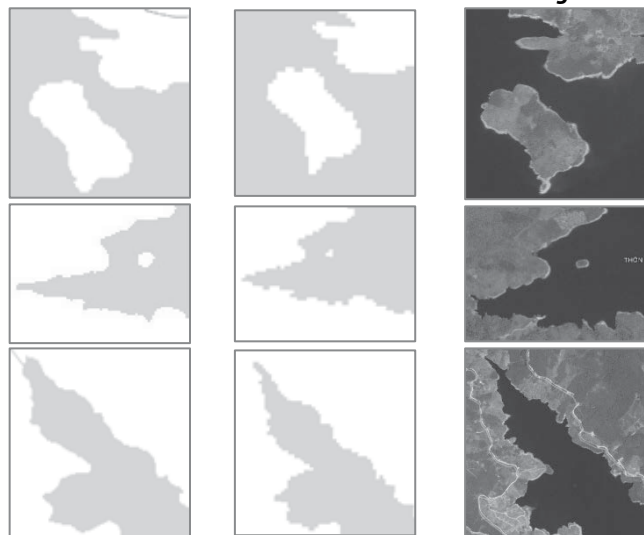
$$MNDWI = \frac{Band_3 - Band_{11}}{Band_3 + Band_{11}} \quad [10] \quad (4)$$


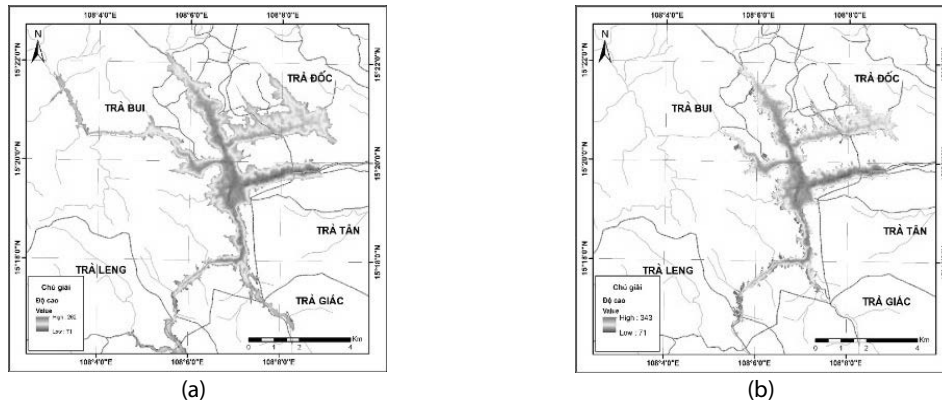
XÂY DỰNG 05.2024 | ISSN 2734-9888

Bảng 3. Phạm vi mặt hồ Sông Tranh 2 xác định từ ảnh radar và ảnh quang học

Bên cạnh đó để xác thực kết quả thu được, đường ranh giới của thể nước được tách ra từ ảnh Sentinel 1, Sentinel 2 được chồng phủ lên ảnh Google Earth (9/2022). Ba khung ngẫu nhiên được phóng to trong Bảng 4 cho thấy sự trùng khớp về mặt hình học và về chuyên đề giữa các bộ dữ liệu trong ngữ cảnh kiểm chứng. Tuy nhiên, ảnh Sentinel 1 có mức độ chi tiết và chính xác hơn so với ảnh Sentinel 2 nhưng kém hơn so với ảnh Google Earth độ phân giải cao. Điều này chứng tỏ việc chọn ảnh Sentinel 1 làm nguồn dữ liệu là phù hợp và hiệu quả.

Ảnh Sentinel 1 Ảnh Sentinel 2 Ảnh Google Earth





Hình 10. Mô hình số độ cao bề mặt đáy hồ Sông Tranh 2 tương ứng ngày chụp ảnh Sentinel-1 a/ 28/5/2022; b/ 23/8/2023

3.2 Ước tính dung tích hồ thủy điện Sông Tranh 2

Cao trình mực nước hồ vào thời điểm chụp ảnh radar được xác định trên trang web của Tổng cục Thủy lợi, Bộ NN&PTNT cung cấp tại trang web <http://thuyloivietnam.vn>. Mỗi cao trình mực nước hồ tương ứng với một phạm vi mặt nước nhất định. Vì vậy, sau khi phân tách từ ảnh Sentinel 1, mặt nước hồ được tích hợp với mô hình số độ cao để khoanh phạm vi bề mặt đáy hồ thủy điện Sông Tranh 2. Bề mặt đáy hồ này kết hợp với cao trình mực nước tương ứng cho phép ước tính dung tích nước trong hồ chứa.

Dung tích nước ước tính trong hồ thủy điện Sông Tranh 2 tại thời điểm chụp ảnh ngày 28/5/2022 được trình bày trong Bảng 5. Bên cạnh đó, một ảnh radar Sentinel 1 khác, chụp ngày 23/8/2023 cũng được xử lý theo cùng quy trình nhằm kiểm tra dung tích nước nhận được. Nhìn chung dung tích ước tính này có sai số nhỏ và tương ứng với số liệu quan trắc tại hồ thu thập được từ trang web <http://thuyloivietnam.vn>.

Bảng 5. Dung tích ước tính của nước hồ chứa so với số liệu quan trắc

Thời gian	Mực nước đo thực tế (m)	Dung tích quan trắc (Km ³)	Dung tích ước tính (Km ³)	Sai số (%)
28/05/2022	172.45	691.2	692.1	0.13
23/08/2023	145.56	290.7	291.4	0.24

Với kết quả được tính toán tại hai thời điểm khác nhau và được kiểm chứng với số liệu quan trắc thực tế, nghiên cứu cho thấy hiệu quả của việc sử dụng dữ liệu viễn thám kết hợp với mô hình số độ cao để tính toán dung tích nước trong hồ chứa, đặc biệt là những hồ mới được xây dựng sau năm 2007 khi mà DEM đã được thành lập cho nhiều khu vực trên toàn thế giới và có thể truy cập miễn phí. Sai số tương quan giữa ước tính bằng mô hình số độ cao và dung tích thực tế đạt dưới 0.5%. Điều này có thể giải thích do sai số của mô hình số độ cao hay do quá trình bồi lắng trầm tích ở đáy hồ từ khi dữ liệu DEM được thành lập tới thời điểm chụp ảnh radar.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng được quy trình xử lý để kết hợp dữ liệu viễn thám và mô hình số độ cao DEM, cùng với số liệu đo đặc mực nước thực tế để ước tính dung tích nước của hồ thủy điện Sông Tranh 2. Kết quả áp dụng cho 1 thời điểm chụp ảnh với độ chính xác trên 99% đã minh chứng sự hiệu quả của dữ liệu radar trong ước tính dung tích nước hồ. Tuy nhiên nó cũng mở ra khả năng sử dụng nhiều ảnh radar để theo dõi sự thay đổi của mực nước hồ chứa trong một giai đoạn bất kỳ. Bên cạnh đó, việc ước tính dung tích theo chuỗi số liệu đa thời gian sẽ cho phép xây dựng đường đặc tính của

lòng hồ chứa để từ đó giúp nâng cao hiệu quả trong công tác vận hành và quản lý các hồ chứa. Ngoài ra, khu vực nghiên cứu nằm ở bên trong lãnh thổ Việt Nam, nhưng kết quả này cũng mở ra tiềm năng theo dõi tình trạng của các hồ chứa nằm bên ngoài lãnh thổ Việt Nam, đặc biệt với các lưu vực sông liên quốc gia như trường hợp của sông Mê Kông, sông Hồng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Verpoorter, Charles, et al., 2014. A global inventory of lakes based on high-resolution satellite imagery, *Geophysical Research Letters*. 41(18), pp. 6396-6402.
- [2]. Birkett, C., et al., 2011. "From Research to Operations: The USDA Global Reservoir and Lake Monitor", in Vignudelli, Stefano, et al., Editors, *Coastal Altimetry*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 19-50.
- [3]. Peng, Dingzhi, et al., 2006. Reservoir Storage Curve Estimation Based on Remote Sensing Data, *Journal of Hydrologic Engineering*. 11.
- [4]. Busker, T., et al., 2019. A global lake and reservoir volume analysis using a surface water dataset and satellite altimetry, *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 23(2), pp. 669-690.
- [5]. Nguyễn Quốc Hiệp và Hùng, Nguyễn Anh, 2019. Cách tiếp cận mới xây dựng đường đặc tính hồ chứa bằng việc sử dụng ảnh viễn thám radar Sentinel-1., *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, pp. 10-19.
- [6]. Bằng, Nguyễn Lương, et al., 2020. Tính toán mực nước và dung tích hồ chứa từ ảnh vệ tinh, *Tạp chí Khoa học thủy lợi và môi trường*. 71, pp. 116-123.
- [7]. Phuong*, Nguyen Hong, Truyen, Pham The, and Nam, Nguyen Ta, 2016. Probabilistic seismic hazard assessment for the Tranh river hydropower plant No2 site, Quang Nam province, *Vietnam Journal of Earth Sciences*. 38(2), pp. 188-201.
- [8]. Hoàì, Lương Thị Thu, 2016. *Đặc điểm hoạt động kiến tạo các hệ thống đứt gãy khu vực thủy điện Sông Tranh 2, tỉnh Quảng Nam*, Đại học quốc gia Hà Nội.
- [9]. Xu, Hanqiu, 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery, *International Journal of Remote Sensing*. 27(14), pp. 3025-3033.
- [10]. Du, Yun, et al., 2016. Water Bodies' Mapping from Sentinel-2 Imagery with Modified Normalized Difference Water Index at 10-m Spatial Resolution Produced by Sharpening the SWIR Band, *Remote Sensing*. 354, pp. 1-19.