

ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ VIỄN THĂM XÂY DỰNG, KIỂM Đếm NGUỒN NƯỚC CHO CÁC HỒ CHỨA VIỆT NAM

Đinh Xuân Hùng, Hoàng Tiến Thành, Hà Thanh Lân, Nguyễn Văn Tuấn
Viện Quy hoạch Thủy lợi

Tóm tắt: Việt Nam có khoảng 6695 hồ chứa trên lãnh thổ đóng vai trò quan trọng trong quá trình điều tiết, cân bằng nước, góp phần trong quản lý tài nguyên nước và giám sát thiên tai. Tuy nhiên, đường đặc tính hồ chứa còn bị hạn chế khi nguồn dữ liệu đã cũ hoặc chưa có số liệu. Công nghệ viễn thám với ưu điểm dễ khai thác, độ bao phủ rộng đã được ứng dụng rộng rãi trên thế giới trong nhiều lĩnh vực, trong đó bao gồm cả quản lý tài nguyên nước. Nghiên cứu ứng dụng công nghệ viễn thám xây dựng đường đặc tính hồ chứa bằng ảnh radar Sentinel-1 kết hợp ảnh quang học Sentinel-2, Landsat 8 trong giai đoạn 2014 – 2019 cho các hồ miền Trung. Kết quả cho thấy công nghệ viễn thám khi so sánh đối với số liệu quan trắc thực tế có kết quả khả quan khi chỉ số Nash các đường quan hệ Z~F và Z~W của hồ Hà Thượng là 0.96 và 0.99; hồ Lanh Ra là 0.94 và 0.97; hồ Sông Trâu là 0.98 và 0.95. Kết quả nghiên cứu đã xây dựng phương pháp đánh giá nguồn nước thông qua xây dựng đường đặc tính hồ chứa, từ đó tạo tiền đề trong công tác kiểm đếm, giám sát nguồn nước cho các hồ chứa vừa và lớn cho các vùng khác trong tương lai. Phương pháp mở ra hướng ứng dụng công nghệ viễn thám trong đánh giá gián tiếp dòng chảy và đường bờ cho những nghiên cứu sau này.

Từ khóa: Miền Trung, Việt Nam, viễn thám, hồ chứa, Sentinel-1, Sentinel-2, Landsat 8, ZFW, Google Earth Engine

Summary: Vietnam has approximately 6695 reservoirs with important roles in the process of regulating and balancing water, contributing to water resource management and disaster monitoring. However, the documents about reservoir characteristic curve are outdated or lack. To solve the above problems, the paper will present the results of research to application of remote sensing technology for define reservoir characteristic curve by methods using radar images: Sentinel-1 combined with optical images: Sentinel-2, Landsat 8 were collected during the period from 2014 to 2019 for typical lakes in the Central region. The results have been verified with actual monitoring data through specific Nash index: the relationship graph Z - F and Z - W of Ha Thuong lake: 0.96 and 0.99; Lanh Ra Lake: 0.94 and 0.97; Song Trau lake: 0.98 and 0.95. The research results have developed a method of assessing water resources through the construction of a reservoir characteristic curve, thereby creating a premise in the counting and monitoring of water sources for medium and large reservoirs for other regions of Vietnam in the future. The method opens the direction of applying remote sensing technology in indirect assessment of flows and shorelines for future studies.

Keywords: Central region, remote sensing, reservoir, Sentinel-1, Sentinel-2, Landsat 8, ZFW, Google Earth Engine

1. TỔNG QUAN

Việt Nam hiện nay có khoảng 6695 hồ chứa bao gồm hồ tự nhiên và hồ nhân tạo với tổng dung tích thiết kế 796 triệu m³, trong đó có 795 hồ chứa có dung tích trên 1 triệu m³ [1] có chức năng tưới tiêu nông nghiệp, nuôi trồng khai thác thủy sản, khai thác thủy điện, phát triển du

lich... Ngoài ra, hồ chứa còn là một trong những công trình điều tiết nước chính trên mỗi lưu vực sông, có tác dụng tiêu thoát nước trong mùa lũ và phân phối nước trong mùa kiệt. Trong những năm gần đây, việc ảnh hưởng của biến đổi khí hậu, các loại hình thiên tai như lũ lụt, hạn hán... diễn biến ngày càng phức tạp, ảnh

Ngày nhận bài: 01/9/2021

Ngày thông qua phản biện: 04/10/2021

Ngày duyệt đăng: 12/10/2021

hưởng đến dân sinh, kinh tế- xã hội. Chính vì thế, việc đánh giá nguồn nước thông qua xây dựng đường đặc tính hồ chứa là một công việc quan trọng trong công tác đánh giá, quản lý tài nguyên nước nói riêng và giảm thiểu thiên tai nói chung.

Công nghệ viễn thám, trên thế giới nói chung và Việt Nam nói riêng, đang phát triển và hoàn thiện không ngừng. Với nhiều ưu điểm như diện tích bao phủ rộng, nguồn dữ liệu sẵn có, dễ dàng khai thác, công nghệ viễn thám ngày càng được ứng dụng phổ biến trong nhiều lĩnh vực, trong đó có đánh giá tài nguyên nước và thiên tai như: Servir-Mekong xây dựng bộ dữ liệu nước mặt toàn cầu JRC bằng ảnh Landsat 5,7,8 giai đoạn 1984-2018. JRC giúp phân tích tình trạng ngập trong quá khứ và hỗ trợ đánh giá ngập trong tương lai [2] hay David C.Mason sử dụng dữ liệu ảnh SAR Sentinel-1 và cao độ số bề mặt (DSM) trong phát hiện ngập lụt tại Fishlake, Anh trong năm 2019 và 2020 [3].

Trong khuôn khổ nghiên cứu đã ứng dụng công nghệ viễn thám trong xây dựng đường đặc tính hồ chứa bằng công nghệ viễn thám sử dụng ảnh radar Sentinel-1 là vệ tinh đầu tiên trong loạt các vệ tinh thuộc chương trình Copernicus của Cơ quan Không gian Châu Âu (ESA), đã được phóng lên quỹ đạo ngày 3/4/2014. Sentinel-1 cung cấp thông tin cho nhiều dịch vụ, từ giám sát băng trong vùng biển cực để theo dõi sụt lún đất và để ứng phó với thiên tai như lũ lụt với độ phân giải 10m. Hiện nay, Sentinel-1 có chu kỳ 6 ngày do hai vệ tinh Sentinel-1A và Sentinel-

1B được phóng so le với nhau [4]. Kết hợp với ảnh quang học như ảnh Sentinel-2 bao gồm Sentinel-2A và Sentinel-2B là sản phẩm của Cơ quan Không gian Châu Âu (ESA) được phóng lên quỹ đạo ngày 23/6/2015. Đây là vệ tinh gần nhất bị thu nhận ảnh đa phổ với 13 kênh phổ (443 nm–2190 nm), dải quét 290 km, độ phân giải không gian 10 m (4 kênh nhìn thấy và cận hồng ngoại), 20 m (6 kênh hồng ngoại sóng ngắn) và 60 m (3 kênh hiệu chỉnh khí quyển). Hiện tại vệ tinh thứ hai (Sentinel-2B) đã được đưa vào sử dụng, cả hai sẽ có chu kỳ lặp lại là 5 ngày với phân giải từ 10-20m [5] và ảnh Landsat 8 là vệ tinh được phóng lên bởi NASA, cung cấp những thông tin quan trọng trong nhiều lĩnh vực như quản lý năng lượng và nước, theo dõi rừng, sức khỏe con người và môi trường, quy hoạch đô thị, khắc phục thảm họa và lĩnh vực nông nghiệp với độ phân giải 30m. Dữ liệu thu nhận được sẽ được phân phối miễn phí đến người sử dụng [6].

Nghiên cứu sử dụng công cụ Google Earth Engine phân loại ảnh theo tiêu chí có nước và không có nước đối với mỗi hồ, sau đó tính diện tích mặt nước cùng với mực nước thu thập tính toán dung tích. Kết quả cuối cùng là đường quan hệ mực nước-diện tích ($Z\sim F$), mực nước-dung tích ($Z\sim W$) và đường đặc tính hồ chứa theo dạng đồ thị và dạng bảng.

Khu vực nghiên cứu là một số hồ chứa theo các vùng thuộc miền Trung, bao gồm hồ Hà Thượng, Lanh Gia và Sông Trâu có thông số như sau:

Bảng 1: Thông tin các hồ chứa trong nghiên cứu

STT	Tên hồ	Địa điểm	Toạ độ		Thông số cơ bản	
			Vĩ độ	Kinh độ	Flv (km ²)	Wtc (10 ⁶ m ³)
1	Hà Thượng	Gio Linh, Quảng Trị	16.90	107.02	13	14.7
2	Lanh Gia	Ninh Phước, Ninh Thuận	11.62	108.85	88	13.26
3	Sông Trâu	Thuận Bắc, Ninh Thuận	11.81	109.07	66	30.4



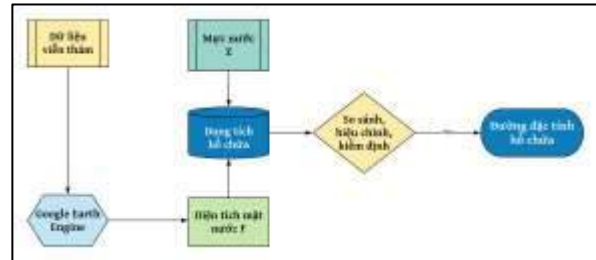
Hình 1: Vị trí các hồ trong nghiên cứu

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Bảng 1: Danh sách dữ liệu ảnh viễn thám thu thập trong tính toán diện tích mặt nước

STT	Tên ảnh	Loại ảnh	Độ phân giải	Thời gian thu thập	Số ảnh thu thập
1	Sentinel-1	Radar	~10 m	2015-2019	297
2	Sentinel-2	Quang học	20 m	2014-2019	272
3	Landsat 8	Quang học	30 m	2014-2019	106

Công cụ Google Earth Engine (GEE) [10] là một công cụ mới với khả năng phân tích mạnh mẽ, đa dạng trong nhiều lĩnh vực trong đó có thủy lợi cùng với đó là khả năng tiếp cận cho nhiều đối tượng, không đòi hỏi cao về phần cứng giúp thuận tiện cho việc chuyển giao công nghệ cho các nhà quản lý nhằm giám sát liên tục sự thay đổi về lượng nước trong hồ chứa, GEE cho phép truy cập trực tiếp cơ sở dữ liệu ảnh Landsat, Sentinel hỗ trợ trong công việc xử



Hình 2: Phương pháp xây dựng đường đặc tính hồ chứa bằng công nghệ viễn thám

Dữ liệu đầu vào của nghiên cứu sử dụng dữ liệu viễn thám, trong đó kết hợp nguồn ảnh radar Sentinel-1 [4] [7] và nguồn ảnh quang học như Sentinel-2 [5] [6], Landsat 8 [8]. Ảnh radar Sentinel-1 có ưu điểm xuyên được mây nên có thể tính toán diện tích đường mặt nước trong điều kiện thời tiết xấu [9], ảnh quang học chụp được đường mặt nước một cách rõ nét. Tuy nhiên ảnh radar lại chịu ảnh hưởng của những dị vật trên bề mặt nước hay kết quả tính toán từ ảnh quang học bị ảnh hưởng bởi mây. Vì thế thu thập ảnh viễn thám radar kết hợp ảnh quang học với ưu điểm tính toán diện tích mặt nước một cách trực quan, chính xác. Nghiên cứu đã thu thập trên 200 ảnh viễn thám radar và quang học trong khoảng thời gian từ năm 2014 đến năm 2019 để nguồn cơ sở dữ liệu trong tính toán, xây dựng đường đặc tính lòng hồ.

lý ảnh theo chuỗi thời gian. Thuật toán trong GEE sử dụng ảnh radar khẩu độ tổng hợp (SAR) phân tách lớp nước và không có nước đối với ảnh radar Sentinel-1 theo ngưỡng (threshold) và tính toán diện tích mặt nước bằng chỉ số khác biệt chuẩn hoá mặt nước NDWI đối với ảnh quang học Sentinel-2, Landsat 8 theo công thức (1):

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (1)$$

Với SWIR là band hồng ngoại sóng ngắn và NIR là band cận hồng ngoại. NDWI > 0.5 được xác định là nước [11] [12].

Diện tích của lớp nước $F = N \cdot A$ (2)

Trong đó: N là số pixel có lớp nước

A là diện tích ô pixel

Kết quả cuối cùng là đường đặc tính lòng hồ theo từng khoảng diện tích mặt nước F và mực nước Z.

Các bước nghiên cứu bao gồm:

Bước 1: Xác định vùng hồ Hà Thượng, Lanh Gia và Sông Trâu, thu thập dữ liệu viễn thám đầu vào.

Bước 2: Tính toán diện tích mặt nước F từ công cụ Google Earth Engine theo công thức (2).

Bước 3: Xây dựng đường mực nước Z dựa trên phương pháp thu thập dữ liệu

Bước 4: Từ F và Z tính toán dung tích W theo công thức:

$$W_{i+1} = \frac{(F_i + F_{i+1} + \sqrt{F_i \times F_{i+1}}) \times (Z_{i+1} - Z_i)}{3} \quad (3)$$

Trong đó: W_{i+1} là dung tích hồ tại mực nước Z_{i+1}

W_i là dung tích hồ tại mực nước Z_i

Giá trị Z_1 tương ứng với $F = 0$ và $W = 0$. Đối với mỗi hồ, giá trị Z_1 sẽ có giá trị khác nhau [13] [14].

Bước 5: Xây dựng đường đặc tính lòng hồ từ bảng quan hệ ZFW công thức (3)

Bước 6: So sánh, kiểm định và hiệu chỉnh đường đặc tính lòng hồ với số liệu quan trắc thực tế tại hồ Hà Thượng, Lanh Gia và Sông Trâu.

3. SỐ LIỆU KIỂM CHỨNG

Để đánh giá kết quả, nghiên cứu thu thập số liệu thực tế của các hồ trong phạm vi bài báo, bao gồm mực nước từ khảo sát địa hình, điều tra thực địa, số đo kết hợp với dung tích nội suy từ đường đặc tính hồ chứa có sẵn từ trang web <http://thuyloivietnam.vn>, <http://hochua.vn> trong giai đoạn 2014-2019. Dữ liệu thu thập được sẽ lọc theo những ngày có ảnh vệ tinh để làm căn cứ kiểm định kết quả của nghiên cứu.

4. KẾT QUẢ

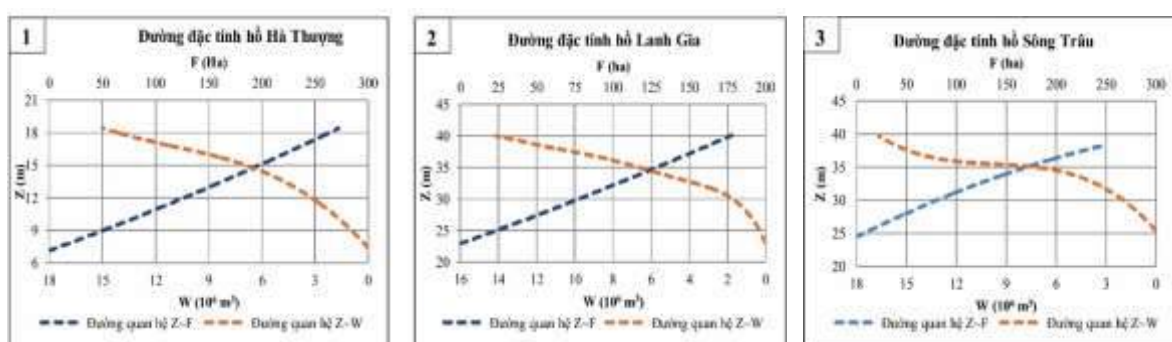
Từ phương pháp nghiên cứu đã xây dựng đường đặc tính hồ trong khu vực nghiên cứu. Kết quả thu được như sau:

Đường đặc tính hồ Hà Thượng, Lanh Gia và Sông Trâu

Bảng 3: Bảng quan hệ ZFW từ công nghệ viễn thám theo cao độ cho hồ Hà Thượng, Lanh Gia, Sông Trâu

Hồ Hà Thượng			Hồ Lanh Gia			Hồ Sông Trâu		
Z(m)	F(ha)	W(10 ⁶ m ³)	Z(m)	F(ha)	W(10 ⁶ m ³)	Z(m)	F(ha)	W(10 ⁶ m ³)
6.8	0	0.00	23	0.00	0	22	0.00	0.00
7	5.3	0.12	24	10.74	0.29	23	5.82	0.13
8	31.5	0.75	25	21.49	0.59	24	11.64	0.26
9	57.8	1.37	26	32.23	0.88	25	17.46	0.39
10	84.1	2.00	27	42.97	1.17	26	23.27	0.52
11	110.3	2.62	28	53.72	1.47	27	29.09	0.65
12	136.6	3.25	29	64.46	1.76	28	34.91	0.78
13	162.9	3.87	30	75.20	2.06	29	48.60	1.00
14	187.4	4.50	31	85.95	2.35	30	72.22	1.60

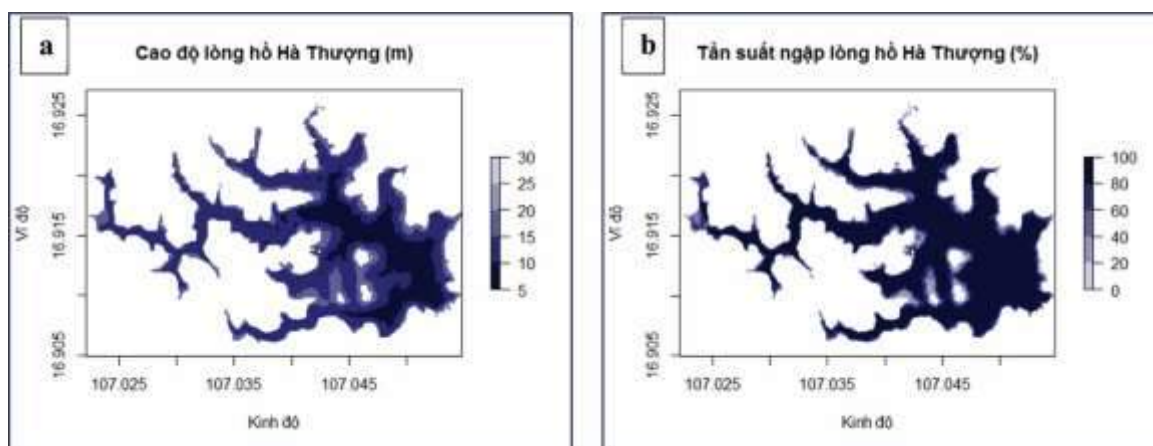
Hồ Hà Thượng			Hồ Lanh Gia			Hồ Sông Trâu		
Z(m)	F(ha)	W($10^6 m^3$)	Z(m)	F(ha)	W($10^6 m^3$)	Z(m)	F(ha)	W($10^6 m^3$)
15	208.4	6.48	32	105.98	3.20	31	100.12	2.60
16	228.0	8.66	33	110.97	3.49	32	125.68	3.66
17	246.2	11.03	34	116.16	4.64	33	144.35	4.95
18	263.1	13.57	35	122.72	5.83	34	156.78	6.46
19	278.7	16.28	36	137.03	7.12	35	188.36	8.17
20	292.9	19.14	37	148.41	8.57	36	181.92	10.13
			38	156.86	10.10	37	208.21	12.17
			39	162.39	11.70	38	225.02	14.34
			40	177.84	13.35	39	244.06	16.64



Hình 3: Đường đặc tính hồ Hà Thượng (1), Lanh Gia (2) và Sông Trâu (3)

Ngoài ra, nghiên cứu so sánh đường tương quan giữa cao độ thực tế và tần suất ngập xây dựng từ ảnh viễn thám lòng hồ Hà Thượng trong Hình 2, kết quả cho thấy những vùng có cao độ

thấp tần suất ngập lớn hay những vùng có cao độ lớn, tần suất ngập nhỏ. Tương quan giữa tần suất ngập và cao độ phù hợp với xu thế của đường quá trình lòng hồ.

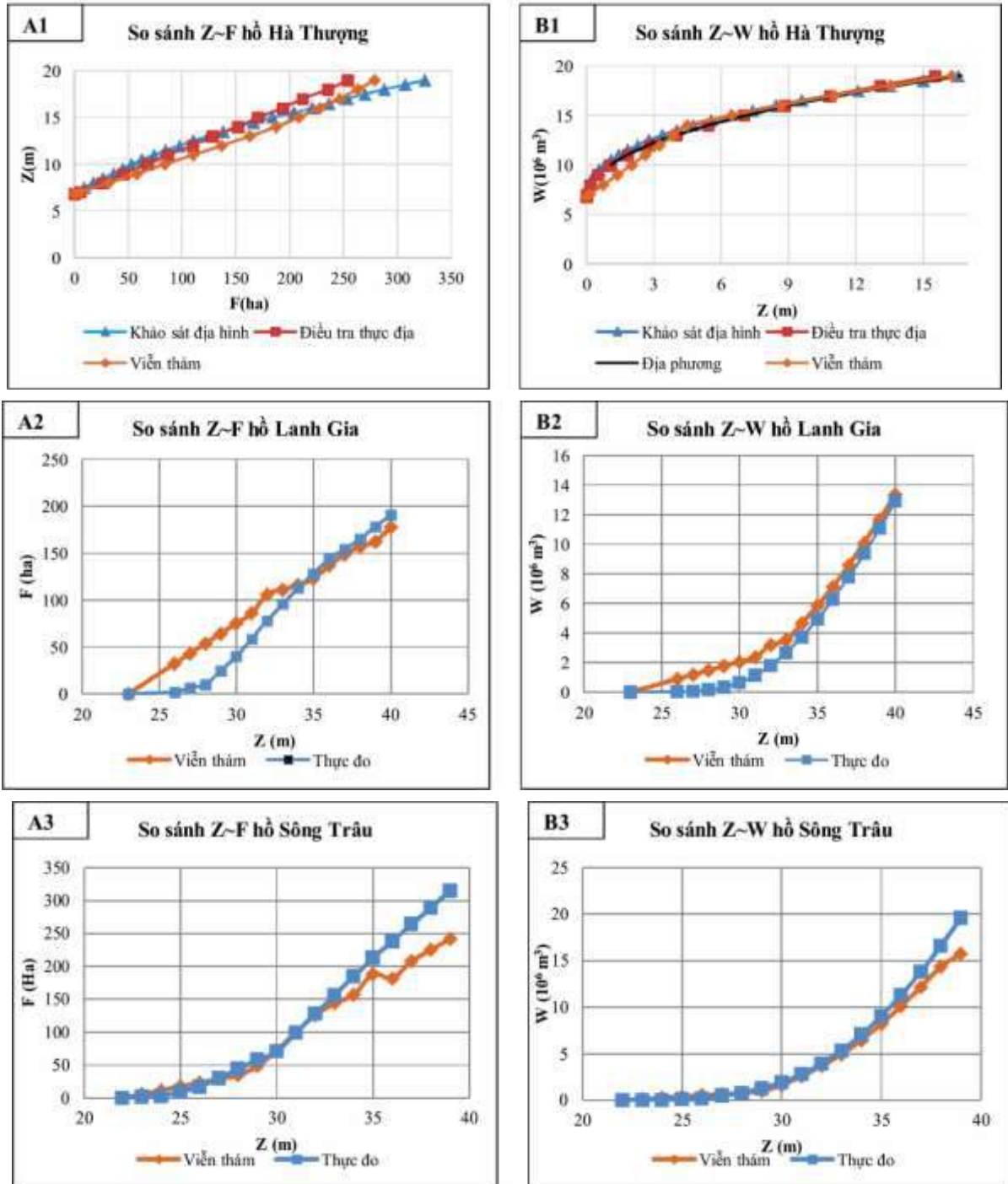


Hình 4: Mối tương quan giữa cao độ lòng hồ (a) và tần suất ngập lòng hồ (b) hồ Hà Thượng

So sánh, kiểm định với dữ liệu quan trắc thực tế

Nghiên cứu đã so sánh, đánh giá đường quan hệ $Z \sim F$, $Z \sim W$ từ công nghệ viễn thám với số liệu

quan trắc thực tế, kết quả thu được như Hình 3.



Hình 5: Kết quả so sánh đường quan hệ $Z \sim F$ hồ Hà Thượng (A1), Lanh Gia (A2), Sông Trâu (A3) và đường quan hệ $Z \sim W$ hồ Hà Thượng (B1), Lanh Gia (B2), Sông Trâu (B3) từ công nghệ viễn thám với dữ liệu quan trắc thực tế

Nhận xét: Đường quan hệ $Z \sim F$ và $Z \sim W$ xây dựng bằng công nghệ viễn thám của hồ Hà

Thượng, Lanh Gia và Sông Trâu khi so sánh với thực đo đều có thiên hướng bé hơn. Tức

là cùng với một mực nước thì F và W viễn thám nhỏ hơn so với thực tế, có thể giải thích rằng những hồ chứa trên có sự bồi lắng bùn cát, dẫn đến diện tích và dung tích có sự thay đổi theo thời gian.

Để kiểm định độ chính xác của công nghệ viễn thám so sánh với thực tế bằng chỉ số Nash có công thức:

$$Nash = 1 - \frac{\sum_1^n (X_{rs} - X_{obs})^2}{\sum_1^n (X_{obs} - X_{obs})^2} \quad (4)$$

Trong đó: X_{rs} là quan hệ Z~F, Z~W xây dựng bằng công nghệ viễn thám

X_{obs} là quan hệ Z~F, Z~W thực đo

Bảng 2: Tiêu chí đánh giá chỉ số Nash theo công thức (4)

Chỉ số Nash	Đánh giá
$0.75 < Nash < 1$	Rất tốt
$0.65 < Nash \leq 0.75$	Tốt
$0.5 < Nash \leq 0.65$	Chấp nhận
$Nash \leq 0.5$	Không chấp nhận

Kết quả so sánh quan hệ Z~F và Z~W giữa công nghệ viễn thám và thực đo trong Bảng 3

Bảng 3: So sánh quan hệ Z~F, Z~W công nghệ viễn thám và thực đo bằng chỉ số Nash

Hồ	Chỉ số Nash	
	Quan hệ Z~F	Quan hệ Z~W
Hà Thượng	0.96	0.99
Lanh Gia	0.94	0.97
Sông Trâu	0.98	0.95

Nhận xét: Đường quan hệ Z~F và Z~W từ công nghệ viễn thám so sánh với thực đo có kết quả khả quan và có thể sử dụng để xây dựng cho một số hồ thiếu hoặc ít số liệu quan trắc.

5. HƯỚNG NGHIÊN CỨU TRONG TƯƠNG LAI

Trong tương lai, kết quả ứng dụng công nghệ viễn thám khôi phục đường đặc tính hồ chứa áp dụng đối với những hồ không có hoặc thiếu dữ liệu quan trắc có dung tích vừa và lớn tại các hồ chứa khác. Ngoài ra, phương pháp nghiên cứu có thể áp dụng để đánh giá gián tiếp sự thay đổi dòng chảy hay biến động đường bờ thông qua việc tính toán, phân tích đường mặt nước theo chuỗi thời gian.

6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng đường đặc tính lòng hồ Hà Thượng, Lanh Gia và Sông Trâu bằng công nghệ viễn thám trong giai đoạn 2014-2019 bằng phương pháp phân loại nước bằng radar khẩu độ tổng hợp SAR đối với ảnh Sentinel-1 và chỉ số NDWI đối với ảnh Sentinel-2 và Landat 8. Kết quả thu được khi so sánh với thực tế đối với đường quan hệ Z~F và Z~W đều nằm trong khoảng chấp nhận (chỉ số Nash nằm trong khoảng 0.94 đến 0.99).

Với những kết quả phân tích và đánh giá phục hồi đường đặc tính lòng hồ bằng phương pháp viễn thám có thể thấy đường đặc tính lòng hồ đã mất hoặc bị khuyết thiếu có thể được phục hồi bằng công nghệ viễn thám, giúp tiết kiệm thời gian và công sức nhờ kho dữ liệu ảnh viễn thám đa dạng, miễn phí, phương pháp xử lý ảnh với công cụ Google Earth Engine dễ tiếp cận công nghệ, cách hiển thị trực quan. Ngoài ra, với cơ sở dữ liệu xây dựng từ công nghệ viễn thám, có thể bổ sung vào cơ sở dữ liệu còn thiếu hoặc không có, giúp hỗ trợ, tính toán dung tích hồ chứa một cách thuận tiện, mở ra nhiều hướng nghiên cứu mới trong công tác sử dụng, quản lý và đánh giá nguồn nước như đánh giá gián tiếp dòng chảy, biến đổi đường bờ theo thời gian. Phương pháp nghiên cứu không chỉ áp dụng với những hồ chứa trên địa bàn miền Trung mà còn áp dụng với những vùng khác trên lãnh thổ Việt Nam.

Tuy vậy vẫn còn một số hạn chế như dữ liệu quan trắc mực nước còn thiếu, một số ngày tính toán diện tích mặt nước bị lệch do mặt hồ có nhiều vật thể trôi nổi đối với ảnh viễn thám radar hay kết quả tính toán đường mặt nước bị ảnh hưởng bởi mây đối với ảnh viễn thám quang học. Ngoài ra, thời điểm lấy ảnh so với thời gian lấy mực nước chưa hoàn toàn trùng khớp hay tính toán diện tích mặt nước chỉ áp dụng với những hồ có dung tích vừa và lớn, kết quả tính toán phụ thuộc vào địa hình. Vì thế cần khắc phục những vấn đề như sử dụng nguồn ảnh phân giải cao hơn, quan trắc mực nước bằng

công nghệ viễn thám để kết quả được chính xác hơn trong những nghiên cứu tiếp theo.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này là một phần kết quả nghiên cứu của đề tài nghiên cứu khoa học và phát triển công nghệ cấp Bộ: “Nghiên cứu

ứng dụng công nghệ viễn thám nhằm kiểm đếm, giám sát nguồn nước các hồ thủy lợi, thủy điện và giám sát hạn phục vụ sản xuất nông nghiệp tại các vùng khô hạn Nam Trung Bộ và Tây Nguyên” thực hiện từ 2019-2021.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] T. c. T. lợi, “Báo cáo số lượng hồ chứa phân theo dung tích và theo địa phương”.
- [2] Servir-Mekong, “Historical Flood Analysis Tool,” [Trực tuyến]. Available: <https://hfa.adpc.net/en/>.
- [3] S. L. D. H. L. C. David C. Mason, “Floodwater detection in urban areas using Sentinel-1 and WorldDEM data,” 2020.
- [4] ESA, “SENTINEL-1 Overview,” pp. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1/overview>, 2014.
- [5] ESA, “SENTINEL-2 Overview,” pp. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/overview>, 2015.
- [6] USGS, “Landsat Missions-Landsat 8,” pp. https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con, 2017.
- [7] Wikipedia, “Sentinel-1,” pp. <https://en.wikipedia.org/wiki/Sentinel-1>, 2020.
- [8] Wikipedia, “Landsat 8,” p. https://en.wikipedia.org/wiki/Landsat_8, 2020.
- [9] C. v. t. q. g. N. H. Gisgprs, “Ưu điểm và ứng dụng của ảnh viễn thám Radar,” pp. <https://anhvientham.com/uu-diem-va-ung-dung-cua-anh-vien-tham-radar-tong-doi-song/>, 2019.
- [10] Google, “Google Earth Engine,” p. <https://earthengine.google.com/>.
- [11] T. Kshetri, “NDVI, NDBI & NDWI Calculation Using Landsat 7, 8,” <https://www.linkedin.com/pulse/ndvi-ndbi-ndwi-calculation-using-landsat-7-8-tek-bahadur-kshetri>.
- [12] Gao, “NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space,” 1996.
- [13] J. Richard, “Measuring Lake Surface Area”.
- [14] N. A. H. Nguyễn Quốc Hiệp, “Cách tiếp cận mới xây dựng đường đặc tính hồ chứa bằng việc sử dụng ảnh viễn thám radar Sentinel-1,” 2019.
- [15] Wikipedia, “Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer,” p. https://en.wikipedia.org/wiki/Moderate_Resolution_Imaging_Spectroradiometer, 2020.
- [16] V. H. Châu, “Hiện trạng khai thác, sử dụng nguồn nước của các hồ chứa lớn và những vấn đề về vận hành liên hồ chứa đối với việc quản lý tài nguyên nước lưu vực sông trong bối cảnh chịu tác động của biến đổi khí hậu”.
- [17] A. M. M. T. M. C. N. H. A. P. B. B. N. S. T. K. F. C. M. K. K. P. C. P. T. D. S. Kel N. Markert, “Comparing Sentinel-1 Surface Water Mapping Algorithms and Radiometric Terrain Correction Processing in Southeast Asia Utilizing Google Earth Engine,” tập doi:10.3390/rs12152469, 2020.